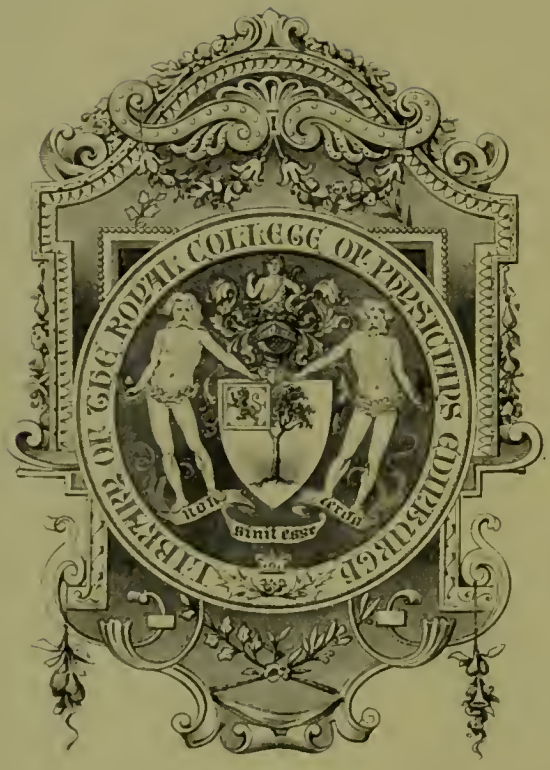
BIBLIOTH.
COLL. REG.
MED. EDIN.



S MARK
4
34
R.C.P. EDINBURGH LIBRARY

DIE EISENBAKTERIEN

VON

PROF. DR. HANS MOLISCH,

DIREKTOR DES PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES DER K. K. UNIVERSITÄT IN WIEN

MIT 3 CHROMOTAFELN UND 12 TEXTFIGUREN

BIBLIOTH.
COLL. REG.
MED. EDIN.

JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1910

Alle Rechte vorbehalten.

Weimar — Druck von R. Wagner Sohn

Vorwort.

Im Jahre 1890 begann ich mich intensiver mit Eisenbakterien zu beschäftigen und zwei Jahre später habe ich die Ergebnisse meiner Untersuchungen in einem besonderen Kapitel meines Buches: „Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen". Jena 1902, niedergelegt. Noch war es aber damals weder mir noch sonst Jemandem gelungen, die typische, in der Natur so weit verbreitete Eisenbakterie, Chlamydothrix (Leptothrix) ochracea Mig., die Ockerbakterie par excellence, rein zu züchten und daher war es vorläufig unmöglich, gewisse namentlich ernährungsphysiologische Fragen zu beantworten und Winogradskys bekannte Hypothese einer exakten Prüfung zu unterwerfen.

Winogradsky hat das Verdienst, die Aufmerksamkeit auf die Physiologie dieser interessanten Bakteriengruppe gelenkt zu haben und hat ihr Fähigkeiten zugeschrieben, die diese Bakterien als biologisch höchst merkwürdige und interessante erscheinen ließen. Nach dem genannten berühmten russischen Bakteriologen soll dem Plasma dieser Bakterien ein spezifisches Oxydationsvermögen für Eisenoxydulverbindungen zukommen und die Bakterien sollen durch diese Oxydation die zum Betriebe des Lebens notwendige Energie gewinnen, also gewissermaßen eine „mineralische" Atmung aufweisen.

Seit 20 Jahren habe ich, mit kürzeren und längeren Unterbrechungen die Naturgeschichte der Eisenbakterien immer und immer wieder teils in der freien Natur, teils im Laboratorium verfolgt und unter anderem auf das Ziel losgearbeitet, die Leptothrix ochracea rein zu kultivieren, um die richtige Grundlage für die Lösung wichtiger Fragen zu erhalten. Dieses Ziel wurde von mir endlich erreicht, denn ich bin seit zwei Jahren imstande, die erwähnte Bakterie in flüssigen und festen Nährböden in üppigster Form und tadellos rein zu züchten.

Wenn sich auch Winogradskys Hypothese im großen und ganzen auf Grund meiner älteren und neuesten Untersuchungen als unrichtig erwiesen hat, so bleiben die Eisenbakterien doch sowohl für den Mor-

phologen wie für den Physiologen von großem Interesse, da sie in der Natur bezüglich der Enteisenung der Gewässer und des Kreislaufs des Eisens eine sehr wichtige Rolle spielen.

Die Eisenbakterien haben aber auch eine wichtige Beziehung zur Mineralogie insofern, als sie sich bei der Bildung der in der Natur oft in sehr ausgedehnten Lagern vorkommenden Rasenerze und Seeerze beteiligen können.

Dazu kommen ferner ihre höchst unangenehmen Beziehungen zur Praxis. Durch ihr Auftreten in Brunnen, Wasserwerken und Wasserleitungen der Städte und ihr geradezu massenhaftes Erscheinen daselbst vermögen sie durch Verschmutzung des Trink- und Nutzwassers und durch Beförderung der Rostbildung in den Leitungsröhren die ärgsten Kalamitäten hervorzurufen. Auch hat es den Anschein, als ob sie bei der Enteisenung therapeutisch verwendeter Eisenwässer beteiligt wären. All diese wichtigen Beziehungen zur Botanik, Mineralogie und Praxis ließen mir es wünschenswert erscheinen, unsere Kenntnisse über die Eisenbakterien zusammenzufassen, auf Grund neuer ausgedehnter Untersuchungen zu erweitern und den Stand der heutigen Forschung auf diesem Gebiete in einem Gesamtbilde zu vereinigen.

Für die treffliche Ausstattung der vorliegenden Schrift bin ich dem Herrn Verleger und für die Mithilfe bei der Anfertigung der darin enthaltenen Zeichnungen und Photographien den Herren Dr. Boresch, stud. phil. Gickelhorn, Dr. Jenčič, Lektor Kasper und Dr. O. Richter zu großem Danke verpflichtet.

Wien, im Mai 1910.

K. K. pflanzenphysiologisches Institut der Wiener Universität.

Hans Molisch.

Inhalt.

Seite

I. **Das Vorkommen und die Verbreitung der Eisenbakterien** . . 1

Eisenbakterien als physiologische Gruppe. Massenhaftes Vorkommen der Chlamydothrix ochracea in der Natur. — Der Brunnenfaden Crenothrix polyspora und andere Eisenbakterien als Brunnen- und Wasserkalamität der Städte. — Verseuchung der Tegeler und Rotterdamer Wasserwerke durch Eisenbakterien, insbesondere durch Crenothrix. — Schädigung der Papierfabrikation durch Crenothrix und Leptothrix. — Crenothrix in der Prager Nutzwasserleitung. — Crenothrix lebt nicht im Boden, sondern auf den Wänden der Bassins und Kanäle. Crenothrix in den Dresdener Wasserwerken. Cladothrix dichotoma, ein sehr verbreiteter Wasserpilz. — Gallionella ferruginea, häufig in therapeutisch verwendeten Eisenwässern, in Wasserleitungsröhren und Eisenquellen. Siderocapsa Treubii, die häufigste Eisenbakterie auf Wasserpflanzen.

II. **Neue Eisenbakterien und systematische Übersicht über die bisher bekannten** 10

Siderocapsa Treubii Molisch, eine der häufigsten Eisenbakterien — Beschreibung und Vorkommen derselben. — Siderocapsa major Molisch. — Chlamydothrix sideropous Molisch. — Gegenwärtig kennt man acht gut beschriebene Eisenbakterien. Die eben genannten, ferner Crenothrix polyspora Cohn, Cladothrix dichotoma Cohn, Clonothrix fusca Schorler, Clamydothrix ochracea Mig. und Gallionella ferruginea Ehrenbg. — Charakteristik derselben. — Bestimmungsschlüssel.

III. **Die Reinkultur der Eisenbakterien** 28

Einleitung. — Die angebliche Reinkultur von Crenothrix polyspora Cohn. — Die Reinkultur von Cladothrix dichotoma Cohn. — Die Reinkultur von Chlamydothrix ochracea Mig. — Herstellung von Rohkulturen. Manganpepton, ein ausgezeichnetes Nährmittel. — Schwierigkeiten der Reinzüchtung. — Gewinnung tadelloser Reinkulturen aus Schwärmern. — Nährmedium. — Beschreibung und Biologie der Chlamydothrix ochracea.

IV. **Die Physiologie der Eisenbakterien und Winogradskys Hypothese** 44

Ältere Ansichten. — Winogradskys Hypothese. — Molischs Einwände. — Chlamydothrix ochracea wächst ohne Zusatz von

Seite

Eisen sehr gut. — Ersatz des Eisens durch Mangan. Winogradskys Hypothese steht mit den Tatsachen im Widerspruch und muß aufgegeben werden. Die Scheide speichert Eisenoxydulverbindungen und der atmosphärische Sauerstoff besorgt die Oxydation. — Enteisenung der Wässer. — Das Verschwinden oder mäßigere Auftreten von Eisenbakterien nach der Enteisenung des Wassers hängt mit der gleichzeitigen Abnahme organischer Substanz zusammen.

V. Andere Eisenorganismen 53

Psichohormium (Conferva) und seine Rosthüllen. — Hansteins Erklärung. — Closterium. Euglenaceen. — Trachelomonas. Anthophysa vegetans speichert viel Eisen in plasmafreien Gallertstielen. — Spongomonas. Rhipidodendron. Phallansterium. Carchesium. Cocconeis. — Biologische Bedeutung der Eisenhüllen. Sie dienen dem Schutze.

VI. Die Eisenbakterien in ihrer Beziehung zur Entstehung von Raseneisenerzen 59

Historisches. — Eigene Untersuchungen an 61 verschiedenen Rasenerzen — Die meisten lassen keine Eisenbakterien mehr erkennen, einzelne bestehen fast ganz daraus. — Über die Möglichkeit des nachträglichen Verschwindens der Eisenbakterien in Erzen. Die Erze können biologisch, d. h. unter Intervention von Eisenbakterien entstehen oder rein physikalisch-chemisch. — Beteiligung von grünen submersen Wasserpflanzen an der Bildung von Eisenoxydniederschlägen in der Natur. — Zusammenfassung.

VII. Die Eisenbakterien in ihrer Beziehung zur Praxis 68

1. Die Rostbildung in den Wasserleitungsröhren.

Verstopfung der Röhren und Verschmutzung des Wassers durch Eisenrost. — Die Verhältnisse in Prag. — Browns Beobachtungen. — Verschmutzung des Wassers durch Mangan. Schorlers Mitteilungen. Die Reinigung der Röhren in Dresden. Rostbildung durch Gallionella. — Nachträgliches Verschwinden dieser Eisenbakterie im alternden Roste. — Eigene Untersuchungen über die Rostbildung in den Wasserleitungsröhren von Prag, Brünn und Wien. — Der Rost entsteht in den Röhren entweder rein chemisch oder chemisch und biologisch.

2. Die Eisenbakterien und die zu Heilzwecken verwendeten Eisenwässer.

Geringe Haltbarkeit der Eisenwässer. Die Ansichten von Binz und Adler. Beteiligung von Mikroorganismen, speziell der Eisenbakterien, an der Fällung des gelösten Eisens. Versuche Adlers.

Autorenregister 81

Erklärung der Tafeln 82

I.

Das Vorkommen und die Verbreitung der Eisenbakterien.

Es gibt verschiedene, meist fädige Bakterien, die in ihrer gallertigen Hülle Eisenoxydverbindungen in mehr oder minder großer Menge ablagern, so daß sie hierdurch ein braunes oder rostrotes Aussehen erhalten. Chlamydothrix (Leptothrix) ochracea, Cladothrix dichotoma, Crenothrix polyspora, Clonothrix fusca, Chlamydothrix (Gallionella) ferruginea und andere gehören hierher und wurden von Winogradsky wegen ihres Vorkommens in eisenhaltigen Wässern und wegen ihrer Fähigkeit, Eisenoxyd in ihrer Hülle abzulagern, zu der physiologischen Gruppe der Eisenbakterien zusammengefaßt.[1])

Ihre Verbreitung in der Natur ist eine sehr große. *Chlamydothrix ochracea*, die „Ockerbakterie" par excellence findet sich sehr häufig vor. Da, wo auf moorigen Wiesen sich stagnierendes Wasser ansammelt, tritt die Chlamydothrix ochracea oft in so großen Mengen auf, daß das Wasser von einer rostroten, ockerigen Masse erfüllt erscheint und ein dickliches Aussehen gewinnt. Bei mikroskopischer Betrachtung zeigt sich, daß die ganze Masse aus Eisenoxydhydrat, häufig vermengt mit einer Unzahl von Chlamydothrix ochracea- oder anderer Eisenbakterienfäden besteht. Nicht immer sind die Bakterienzellen in den Scheiden vorhanden, die meisten Scheiden erweisen sich vielmehr als leer. So fand ich es in Böhmen, Kärnten, Steiermark, Tirol und Bayern. In Kitzbühel (Tirol) befindet sich ein kleines Eisenbad, wo das zu den Einzelbädern verwendete Wasser eine tiefbraune, von Eisenoxyd und einer kolossalen Menge von Chlamydothrix ochracea-Räschen herrührende Farbe und Trübung besitzt.

Auch auf Wasserpflanzen, namentlich solchen, die in weichen Wässern vorkommen, findet man eine reiche Ausbeute von Eisenbakterien verschiedener Art. Das Wasser der Moldau, die in ihrem

[1]) Winogradsky, S., Über Eisenbakterien. Botan. Zeitung, 1888, S. 261.

Oberlauf im südwestlichen Böhmen lange durch ausgedehnte Moore fließt und hier nach und nach infolge der Auflösung organischer Substanzen eine bräunliche Farbe annimmt, war für mich eine wahre Fundgrube von verschiedenen Eisenbakterien und anderen biologisch interessanten Organismen. In den toten Armen des genannten Flusses — ähnliches gilt auch von der Elbe, in die sich ja bekanntlich die Moldau ergießt — waren Chlamydothrix ochracea, Cladothrix dichotoma, Siderocapsa Treubii und andere Eisenbakterien häufige Gäste und ich vermute, daß in anderen weichen Wässern ähnliches zu beobachten sein wird. —

Ein zweiter, zu den Eisenbakterien gezählter Organismus, der von J. Kühn 1852 in Schlesien in einer Tonrohrleitung entdeckt und von F. Cohn[1]) zuerst genauer beschrieben wurde, ist der Brunnenfaden *Crenothrix polyspora* Cohn. Er fand diese Bakterie in mehreren Brunnen von Breslau und in Quellen des Bades Cudova, aber niemals in offenem Wasser.

Später beobachtete sie Zopf[2]) um Berlin in stagnierenden Gewässern, in Teichen, Tümpeln und Gräben, namentlich in solchen mit faulenden Substanzen, stets in Begleitung von Cladothrix dichotoma und Beggiatoa. So in der berüchtigten Panke in Berlin, im Spandauer Schiffahrtskanal, im „schwarzen Graben“ bei Charlottenburg und in Pommern.

Es ist auch bekannt, daß die Eisenbakterien nicht selten in Wasserleitungen, Wasserwerken und Brunnen in ungeheueren Mengen auftreten, so daß sie für Städte eine wahre Kalamität werden und das Wasser nicht selten sogar als Nutzwasser unbrauchbar wird.

Nach Cienkowski kommen Crenothrix und Cladothrix häufig in den russischen Wasserwerken vor, nach Giard trat Crenothrix in Lille (Frankreich) in dem Grade auf, daß sie die Bewohner gleich der Pest erschreckte.[3])

Bei Berlin machte sich in dem Tegeler Wasserwerke, das anfangs das Wasser aus tiefen Brunnen schöpfte und ohne Filtration der Stadt zuführte, bereits im Sommer 1878 Crenothrix bemerkbar und vermehrte sich derart, daß die unzähligen gelblichen und bräunlichen Flocken des Brunnenfadens das Wasser verseuchten. Auch in dem Charlottenburger,

---

[1]) Cohn, Ferdinand, Über den Brunnenfaden (Crenothrix polyspora) usw. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd I, 1875, S. 108—131.

[2]) Zopf, W., Zur Morphologie der Spaltpflanzen (Spaltpilze und Spaltalgen). Leipzig 1882, S. 36.

[3]) Zopf, W., Spaltpflanzen l. c. S. 36.

Hippodrom- und Stralauer Wasserwerke, in dem Tiefbrunnen der Lichtenfelder Wasseranlage und in dem Brunnen der Strafanstalt Plötzensee wurde Crenothrix in mehr oder minder großer Menge aufgefunden.[1]) Da die Crenothrix die Brunnen und Wasserleitungen in so unangenehmer Weise zu verseuchen vermag, so wird es dem Leser erwünscht sein, über das Auftreten dieser Pest der Brunnen- und Wasserleitungen etwas Näheres zu erfahren. Sehr genau wurden die diesbezüglichen Verhältnisse in Rotterdam von H. de Vries[2]) studiert, als die unterirdischen Wasserwerke daselbst sich infolge mangelhafter Filtration des Maaswassers mit organischer Substanz anreicherten und durch die Crenothrix verseucht wurden. An vielen Stellen dieser in vollständiger Finsternis befindlichen Wasserkanäle und Bassins waren die Wände buchstäblich von einer reichen Organismenwelt überzogen. Prachtvolle weiße Rasen von Süßwasserschwämmen (Spongilla fluviatilis L.), unzählbare Muscheln (Dreyssena polymorpha), große Massen von zierlichen Hornpolypen (Condylophora lacustris) überzogen in dichten Decken die vom Wasser umgebenen Wände. Dazwischen wimmelte es von Vorticellen, Acineten, Infusorien, Rotatorien, Naiden, Wasserasseln, Flohkrebsen und kleinen Wasserschnecken (Bythinia). Hier wucherte mitten zwischen dieser reichen Tierwelt frei und unbeschränkt in großen üppigen Flocken, häufig vermengt mit Cladothrix, die Crenothrix. „Die Schalen der Muscheln und die Stämme der Hornpolypen waren von einem dichten Filze unserer Eisenbakterien überzogen, kein Präparat war von diesem Pilze frei. Dunkelbraune, zu dichten Bündeln zusammengefügte Scheiden, aus deren Spitzen die blasseren und farblosen Fäden hervorragten, in allen Stadien des Entwicklungsprozesses. Scheiden mit Mikrosporen und solche, welche durch deren Keimung zu reich verzweigten Stämmen ausgebildet waren. Abgerissene Flocken, welche noch zwischen den Polypenstöckchen verwirrt umhertrieben, wurden hier und dort beobachtet, weitaus die größten Mengen saßen aber noch an Ort und Stelle fest, wo sie entstanden waren. Was losgerissen wurde, wurde offenbar in der Regel sofort durch den Strom des Wassers mitgeschleppt und aus dem Kellerreservoir entfernt.[3])

An anderen Stellen des Kanals, wo es keine Schwämme, Muscheln

---

[1]) Zopf, W., Entwicklungsgeschichtliche Untersuchung über Crenothrix polyspora, die Ursache der Berliner Wasserkalamität. Berlin 1879, S. 16.

[2]) de Vries, Hugo, Die Pflanzen und Tiere in den dunkeln Räumen der Rotterdamer Wasserleitung. Bericht über die biologischen Untersuchungen der Crenothrix-Kommission zu Rotterdam vom Jahre 1887. Jena 1890, 73 S.

[3]) de Vries, Hugo, l. c. S. 24.

oder „Leitungsmoose“ (Bryozoen) gab, saßen die Flocken des Brunnenfadens direkt den Mauern auf und bildeten hier einen mehr minder dichten sammtartigen Rasen. Hier überzog ein glatter brauner Filz von wenigen Millimetern Dicke in einer Ausdehnung von mehreren Quadratmetern den Kanal, dort waren die Mauern mehr inselartig von zerstreuten Crenothrix-Flocken besetzt. Von diesen Rasen und Räschen schwemmte der vorbeigleitende Wasserstrom Crenothrix-Bündel beständig fort und trug so zur Verbreitung dieser Bakterie bei.

Vor etwa 18 Jahren hatte ich in Gratwein bei Graz in Steiermark Gelegenheit, eine eigenartige durch Eisenbakterien hervorgerufene Kalamität kennen zu lernen.[1]) Im Monate November 1891 wurde mir berichtet, daß in einer sehr bekannten Papierfabrik die hier funktionierenden Brunnen seit kurzer Zeit auffallend unreines Wasser liefern. Das Wasser sei trüb, enthalte braune Flocken und entwickele namentlich beim Schütteln einen unangenehmen Geruch. Die Verwendung solchen Wassers in der Fabrik bringe es mit sich, daß das farbige Papier der blendenden Weiße entbehre und einen merkbaren Stich ins Gelbbräunliche besitze. Von der dortigen Direktion um eine mikroskopische Analyse dieses Wassers ersucht, konnte ich mich bald überzeugen, daß die Hauptmasse der im Wasser schwimmenden braunen Flocken aus Eisenbakterien bestand, und zwar vorwiegend aus Chlamydothrix ochracea und zum geringen Teil aus Crenothrix.

Überdies enthielt das Wasser ziemlich viel organische Substanzen und gelöste Eisenverbindungen. Die Kalamität stand offenbar im Zusammenhang mit dem Eindringen organischer Substanz in die Betriebsbrunnen, die wahrscheinlich aus den in der Nähe befindlichen und undicht gewordenen Abwässerkanälen der Fabrik stammte.

In der Wasserleitung von Prag, die derzeit keine Trinkwasser-, sondern eine Nutzwasserleitung ist und das Moldauwasser nach schlechter und durchaus ungenügender Filtration in die Häuser führt, sind Crenothrix, Cladothrix und Chlamydothrix ständige Gäste. Wenn man das Ende eines Ausflußrohres der Wasserleitung mit einem Flanellappen fest umwickelt, den Hahn öffnet und das Wasser dann eine Stunde oder länger durchfiltrieren läßt, so verbleibt auf dem Flanell eine rostbraune Masse, die großenteils aus Eisenoxydhydrat besteht, das sich von der inneren Oberfläche der eisernen Wasserleitungsröhren abgelöst hat. In dieser Rostmasse findet sich eine interessante mikroskopische

[1]) Molisch, Hans. Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892. S. 61.

Flora und Fauna vor und unter den Bakterien fallen die drei genannten Eisenbakterien durch ihre Häufigkeit auf.

Ruttner[1]), dem wir eine ausgezeichnete Arbeit über die mikroskopischen Pflanzen des Prager Leitungswassers verdanken, äußert sich über das Vorkommen des Brunnenfadens wie folgt: „Crenothrix polyspora, die meist auch den Eisenbakterien zugezählt wird, bildet ebenfalls einen ständigen Bewohner des Prager Leitungswassers. Ja, was die Massenhaftigkeit der Entwicklung anlangt, nimmt sie unter der Vegetation der Röhrenwandungen unstreitig den ersten Rang ein. Sie fand sich in jeder Probe, meist in größeren oder kleineren Räschen auf Teilen von Eisenoxydhydrat festsitzend. Oft bestand ein solches Räschen aus mehreren Hunderten von Fäden in den verschiedensten Entwicklungsstadien. In welchen Mengen dieser viel beschriebene Spaltpilz auch in der hiesigen Leitung auftritt, davon kann man sich mitunter leicht überzeugen, wenn man nur in einem Glase etwas Wasser auffängt. Deutlich sieht man in demselben größere oder kleinere weiße Flocken schweben, die losgerissenen Rasen von Crenothrix polyspora.“ Obwohl ich die Crenothrix während meiner 15jährigen Wirksamkeit an der deutschen Universität in Prag (1894—1909) ständig im Prager Leitungswasser beobachtete, habe ich sie im Bette der Moldau, die doch die Wasserleitung speist, nie gefunden. Auch Cohn bemerkt ausdrücklich, daß er den Brunnenfaden im offenen Wasser nie beobachtet habe. Aber die bereits angeführten entgegengesetzten Angaben Zopfs über das Vorkommen der Crenothrix im offenen Wasser lauten so bestimmt, daß man an ihrer Richtigkeit wohl schwer zweifeln darf. Nach dem genannten Autor kommt der Brunnenfaden in Schlesien, Brandenburg und Sachsen vor und lebt hier sowohl im Brunnen- wie im Flußwasser, z. B. in der Spree.

Zopf[2]) und Brefeld, die das Tegeler Wasser, als dasselbe durch Eisenbakterien verunreinigt wurde, im Auftrage des Berliner Magistrats untersuchten, legten sich auch die Frage vor, wie die Crenothrix in die Brunnen und in die Tiefbrunnen hineingelangte. Ob durch Übertragung von Keimen mittels der Luft oder ob die Pflanze nicht vielleicht gar ihren Wohnsitz im Boden habe, im Bodenwasser normal

---

[1]) Ruttner, Franz, Die Mikroflora der Prager Wasserleitung. Archiv der naturw. Landesdurchforschung von Böhmen. Bd. XIII, Nr. 4, 1906, S. 6. Vgl. auch Hansgirg, A., Prodromus der Algenflora von Böhmen. 2. Teil, S. 180. Archiv für naturw. Landesdurchforschung von Böhmen. 8. Teil, Nr. 4. (Botan. Abt.) Prag 1892.

[2]) Zopf, W., Entwicklungsgesch. Unters. über Crenothrix usw. l. c. S. 17.

vegetiere und von da aus die Brunnen anstecke. Sie kommen auf Grund von Versuchen, bei denen in Tegel an sechs verschiedenen Punkten aus ganz bestimmten bis 24 Meter reichenden Tiefen Wasserproben entnommen wurden, in der Tat zur Ansicht, daß die Crenothrix im Boden lebt.

Zur Beurteilung dieser Frage ist es von Wichtigkeit, daß sich in den aus dem Boden entnommenen Wasserproben neben der Crenothrix eine chlorophyllgrüne Alge aus der Familie der Palmellaceen vorfand. Da unter natürlichen Verhältnissen bisher Algen niemals als Dunkelpflanzen aufgefunden worden waren, so lag der Verdacht nahe, daß diese Alge und mit ihr die Crenothrix mit den Tagwässern durch Spalten in die tieferen Schichten des Bodens gelangt sein könnte. Aus diesem Grunde hat de Vries die Versuche Zopfs auf dem Rotterdamer Werke wiederholt. „Zwischen den Filtern, in der Nähe von stark infizierten Stellen, wurden Nortonröhren in den Boden eingeschlagen, und Schlamm aus der Tiefe von einigen Metern hervorgeholt. Nur dort, wo ein rascher und reichlicher Zufluß von Wasser die Anwesenheit von Spalten im Boden verriet, enthielten die Proben Crenothrix und mit dieser auch verschiedene grüne Algen, welche offenbar den benachbarten Filterbassins entstammten. Aus den meisten Brunnen kamen aber weder Algen noch Eisenbakterien zum Vorschein.“ [1]) Daraus schloß de Vries, daß die Crenothrix wenigstens auf dem Rotterdamer Werke nicht im Boden vegetiert, als Ort der Vermehrung und ihr eigentlicher Sitz wurden vielmehr die Wände der Bassins und der Kanäle erkannt. —

Als in den Dresdener Wasserwerken die Crenothrix auftrat, hatte Schorler [2]) im Auftrage des Rates der Stadt Dresden die Sache zu untersuchen und hatte hierbei Gelegenheit, über das Vorkommen von einigen Eisenbakterien, unter anderen auch über die Crenothrix, Beobachtungen zu machen. „Die Crenothrix ist eine festsitzende Pflanze, die sich in den Brunnen zuerst auf dem Brunnenboden einstellt und hier bereits eine üppige Vegetation bilden kann, noch ehe von ihr etwas zu bemerken ist.“

Er fand das Vorkommen des Brunnenfadens in den von ihm untersuchten sieben Wasserwerken auf solche beschränkt, deren Brunnen in der Nähe der Elbe und in deren Überschwemmungsbereich liegen. Am üppigsten wucherte er in dem Tolkewitzer, weniger mächtig in dem Saloppenwasserwerk, beide zur Wasserversorgung von Dresden gehörig

[1]) de Vries, H., l. c. S. 16.

[2]) Schorler, B., Beiträge zur Kenntnis der Eisenbakterien. Zentralbl. f. Bakteriologie usw., II. Abt., Bd. XII, 1904, S. 682.

und in dem I. Wasserwerk der Stadt Meißen. Die Brunnen dieser Werke liegen durchwegs in den die Elbe begrenzenden Wiesen, somit in dem Inundationsgebiet des Flusses. In den anderen Werken, nämlich Blasewitz, Loschwitz und Meißen II, die gleichfalls im Elbtal, aber nicht im Überschwemmungsbereich liegen, findet sich Crenothrix nach Schorler nicht vor. Deshalb wird es nicht unwahrscheinlich, daß der Brunnenfaden aus dem Flusse in die Brunnen und Werke gelangt.

Zu den verbreitetsten Eisenbakterien gehört zweifellos die *Cladothrix dichotoma* Cohn. Sie findet sich in Wässern, wo organische Substanzen in Verwesung übergehen, allgemein verbreitet, so daß es überflüssig ist, noch besondere Standorte anzuführen. In Wassergefäßen, wo Blätter, Algen oder sonstige Pflanzen und Pflanzenteile faulen, tritt dieser gemeine Wasserpilz alsbald als Überzug oder in Form weißer Flöckchen auf, die vom Wasserspiegel in das Wasser hineinhängen oder an den Innenwänden der Gefäße befestigt erscheinen. Im Alter können die Fäden, zumal in eisenreicheren Gewässern, infolge von Eisenoxydeinlagerung eine bräunliche Farbe annehmen. —

Aus den vorstehenden Erfahrungen geht hervor, daß Chlamydothrix, Crenothrix und Cladothrix in Mitteleuropa weit verbreitete Organismen sind und weitere Untersuchungen dürften eine noch viel größere Verbreitung ergeben. Bezüglich der Chlamydothrix kann ich dies jetzt schon behaupten, denn ich konnte gelegentlich einer Reise um die Erde in den Jahren 1897/98 diese Eisenbakterien auf Ceylon, auf Java, in China, Japan und in Amerika (Chicago) auffinden, so daß man diesen Organismus wohl als einen kosmopolitischen bezeichnen kann.

Wir werden später sehen, daß die Chlamydothrix ochracea und Gallionella auch in Rasen- und Sumpferzen vorkommen und an dem Aufbau derselben Anteil haben können. Von der Gallionella ferruginea Ehrenberg = Chlamydothrix ferruginea (Ehrenberg) Migula hat Ehrenberg, der sie noch zu den Diatomeen stellte, dies schon in seinem großen Infusorienwerke behauptet.[1]) Ihre systematische Stellung und Zugehörigkeit zu den Faden- beziehungsweise Eisenbakterien hat Migula[2]) erkannt. Dieser Organismus ist zwar nicht so weit verbreitet wie Cladothrix dichotoma und Leptothrix ochracea, doch ist er jedenfalls verbreiteter als man früher angenommen hat.

[1]) Ehrenberg, D. C. G., Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen. Leipzig 1838, S. 169—170.

[2]) Migula, W., Über Gallionella ferruginea Ehrenberg. Berichte der deutschen Botan. Ges. 1897, S. 321 und derselbe: System der Bakterien, Bd. II, Jena 1900, S. 1031 u. 1032.

Ehrenberg erwähnt eine interessante Verwendung der Gallionella. Nach einer offiziellen Mitteilung, die ihm die Beamten des Salzwerkes zu Colberg in Preußen gemacht haben, streicht man daselbst mit ihnen gleich einer Eisenfarbe die Häuser an.[1])

Adler[2]) hat die Gallionella bei der Untersuchung von 41 meist im Handel befindlichen und zu therapeutischen Zwecken verwendeten natürlichen Eisenwässern in den abgefüllten Flaschen von 12 Quellen konstant gefunden. Die untersuchten Quellen gehörten Österreich, Deutschland und Frankreich an.

Hansgirg führt in Böhmen als Fundort an einen Sumpf bei Püllna nächst Brüx, ferner einen bei Sulowitz nächst Lobositz.

Ich selbst habe Gallionella in unmittelbarer Nähe von Prag in einem kleinen Teich bei Branik (Zatišy) und im Roste von Wasserleitungsröhren von Brünn, in ziemlicher Menge beobachtet und kann auch ihr Vorkommen in der Karlsbader Eisenquelle bestätigen. Interessante Beobachtungen über diese Eisenbakterien verdanken wir Schorler. Er sagt: „Bei meinen Untersuchungen der Wasserwerke des Elbtalkessels habe ich die Gallionella sehr häufig getroffen, und zwar nicht nur in den Brunnen selbst, sondern auch in den Hochbehältern, auf dem linken wie auf dem rechten Elbufer.“[3]) Als Hauptsitz der Massenvegetation der Gallionella erkannte Schorler die an der inneren Oberfläche der Eisenröhren vorkommenden, dem Lichte entzogenen Rostmassen. „Bei der Entnahme von Bodenproben behufs Feststellung der Crenothrix durch meinen Schlammschöpfer kratzte dieser von dem engen eisernen Rohre des Rohrloches Rostkrusten ab, auf denen ich zu meinem größten Staunen bei der mikroskopischen Untersuchung die so lange vergeblich gesuchten üppigen Gallionella-Vegetationen entdeckte. Junge und alte, farblose oder gelb und rostrot gefärbte Fäden in allen von Migula dargestellten Formen bilden hier einen orangeroten, leicht abwischbaren oder fester anhaftenden Überzug, in dem man keine anderen Organismen und auch nur sehr wenige strukturlose Rostkörner beigemischt findet“ (S. 693). Nachdem Schorler einmal auf dieses eigenartige Vorkommen der Gallionella aufmerksam geworden war, fand er ihre Massenvegetation an solchen Rostkrusten unter Wasser überall, in den eisernen Röhren der Bohrlöcher, in und an den Saugröhren der Pumpen, an den Ma-

[1]) Ehrenberg, C. G., Die Infusionstierchen usw. l. c. S. 170.

[2]) Adler, O., Über Eisenbakterien in ihrer Beziehung zu den therapeutisch verwendeten natürlichen Eisenwässern. Zentralbl. f. Bakteriologie usw., II. Abt., Bd. XI, 1903, S. 281.

[3]) Schorler, B., l. c. S. 692.

schinenteilen der letzteren selbst, an eisernen Stangen und Gerüsten, kurz wo nur Eisenteile im Wasser rosteten. Vergl. auch S. 73. Ganz rein erhält man nach dem genannten Gewährsmann die Gallionella, wenn man die den Röhren unter Wasser so häufig anhaftenden Rostbrocken losbricht und im Wasser schüttelt. Man findet dann in dem sich nach und nach absetzenden rostroten Schlammabsatz reichlich Gallionella.

Auch Ellis[1]) gibt an, daß er Gallionella in Lanarkshire und Renfrewshire (Schottland) neben Leptothrix ochracea häufig gefunden habe. Von letzterer berichtet er, daß er sie in 300 untersuchten Eisenwässern, die hauptsächlich aus Großbritannien, ferner aus Rußland, Dänemark und Spanien stammten, bei mehr als 90 % gefunden habe und zwar in größerer Menge als andere Eisenbakterien.

Schließlich möchte ich noch auf die ausgedehnten Untersuchungen von Schwers[2]) hinweisen. Er hat 208 ockerige Niederschläge an verschiedenen Orten Belgiens in der Natur gesammelt und in 160 davon Eisenbakterien konstatiert. Von den 160 enthielten 51 nur Leptothrix ochracea, 18 nur Gallionella und 91 beide genannten Bakterien zugleich. Es geht daraus hervor, daß zwar Leptothrix viel verbreiteter ist als Gallionella, daß aber diese gleichfalls kein seltener Organismus ist.

Die von mir neu entdeckten Eisenbakterien Siderocapsa und Chlamydothrix sideropous genießen in der Natur als Epiphyten auf den verschiedensten Wasserpflanzen des süßen Wassers ziemliche, die erstere eine geradezu ungeheure Verbreitung; ich werde bei der Schilderung dieser Bakterien später speziell noch darauf zurückkommen.

Bei der großen geographischen Verbreitung und dem oft massenhaften Auftreten dieser merkwürdigen Organismen, die für die Industrie und den menschlichen Haushalt eine wahre und oft gefühlte Kalamität werden können, fällt den Eisenbakterien eine ungemein wichtige Aufgabe zu, insofern, als sie in der Überführung des im Wasser gelösten Eisenoxyduls in festes Eisenoxyd, also in der Fixierung und Speicherung des Eisens eine hochwichtige Rolle spielen, ähnlich wie gewisse Meeresalgen gegenüber dem Kalk.

Es ist bemerkenswert, daß bisher Eisenbakterien im Meere nicht aufgefunden worden sind.

---

[1]) Ellis, D., A contribution to our knowledge of the thread-bacteria. II. Zentralblatt f. Bakteriologie usw. 1910, II. Abt., Bd. 26, S. 325.

[2]) Schwers, H., Le fer dans les eaux souterraines. Paris 1908, S. 44–45.

II.

Neue Eisenbakterien und Übersicht über die bisher bekannten.

Es gibt wenige gut beschriebene Eisenbakterien, die in sehr großer Menge Eisen ablagern und speichern. Hierher gehören die Ockerbakterie Chlamydothrix ochracea, ferner Gallionella ferruginea und die Clonothrix fusca. In viel geringerem Grade ist dies gewöhnlich bei Cladothrix dichotoma und dem Brunnenfaden Crenothrix der Fall. Bei Cladothrix zeigt die Scheide sehr häufig gar keine bräunliche Farbe, doch soll nicht bestritten werden, daß alte und sehr alte Fäden schließlich eine von Eisenoxyd herrührende bräunliche Färbung annehmen können.

Bei der Crenothrix erscheinen die Flöckchen dem freien Auge gar nicht selten braun, weil die Fäden häufig mehr minder großen Bröckchen von Eisenoxydhydrat aufsitzen. Die Scheiden aber sind zumeist ganz farblos. Aus diesem Grunde könnte man vielleicht Bedenken tragen, die beiden zuletzt genannten Organismen zu den Eisenbakterien zu stellen, doch will ich von dieser Gepflogenheit nicht abweichen, da ja eine Speicherung von Eisenoxyd in den Scheiden tatsächlich vorkommen kann und da sie in eisenreichen Wässern mit Vorliebe auftreten. Sie sind eben siderophil. So wie bei den Kali-, Nitrat- und bei den Jodpflanzen sich alle Übergänge vorfinden von solchen, die die genannten Stoffe in extremer Weise speichern bis zu solchen, die es nur in minimaler Weise tun, so ist dies eben auch bei den Eisenbakterien der Fall. Es ist oft schwer, bei der Gruppierung solcher Organismen eine bestimmte Grenze zu ziehen. In den letzten Jahren habe ich einige neue Eisenbakterien entdeckt, die außerordentlich viel Eisen speichern und die merkwürdigerweise ganz übersehen worden sind. Ich schildere zunächst diese.

1. *Siderocapsa Treubii nov. gen. et nov. sp.*[1])

Diese Bakterie gehört zu den häufigsten Wasserbakterien. Zweifellos sind ihr viele Mikroskopiker wiederholt begegnet, aber keiner hat sie als Bakterie erkannt.

Sie lebt epiphytisch auf den meisten submersen Teilen von höheren Wasserpflanzen unserer süßen Wässer, nicht selten in so großer Menge, daß der betreffende Pflanzenteil eine hell- bis dunkelbraune Farbe annimmt. — Um dieser Bakterie rasch habhaft zu werden, empfehle ich, ältere Sprosse von Elodea, die Unterseite von Nymphaeablättern oder die „Wurzelhaare“ der bekannten Aquariumpflanze Salvinia auriculata mikroskopisch zu untersuchen.

Prüft man die mittelalten und älteren „Wurzelhaare“, d. h. die haarförmigen Zipfel des als Wurzel fungierenden Wasserblattes dieser im Moldauwasser oder Wiener Hochquellwasser kultivierten Pflanze, so sieht man bei mikroskopischer Betrachtung die Oberfläche mehr minder überzogen mit einer braunen ockerigen Kruste mit darin befindlichen farblosen runden Höfen, wie es die Fig. 1 auf Tafel I verdeutlicht.

Untersucht man jüngere Haare, so kann man die Entstehung dieser Kruste leicht verfolgen. Man sieht dann die einzelnen Eisenoxydinseln mit ihren hellen Höfen im Innern noch isoliert. Später werden die Inseln häufiger, sie berühren sich mit ihren Rändern und verschmelzen da und dort schließlich zu größeren hautartigen tiefbraunen Krusten.

Bei einer Vergrößerung von etwa 300—500 sieht man in diesen kleinen isolierten Ockerinseln, von denen eine Anzahl in der Fig. 2 der Tafel I abgebildet sind, einen scharfbegrenzten, rundlichen, zumeist elliptischen Hof, der nach außen hin von einem durch Eisenoxyd braun gefärbten Hof von ziemlicher Dicke umrahmt ist. Die äußere Begrenzung dieses Hofes ist oft unregelmäßig, mitunter verzerrt sternartig.[2])

Ich habe diese eigenartigen Gebilde schon seit vielen Jahren beobachtet, ich wußte aber nicht, wie ich mir ihre Bildung erklären sollte. Ursprünglich vermutete ich, daß sie die Befestigungsstelle einer Fadenbakterie, einer Fadenalge oder irgend eines Eisenflagellaten darstellen

---

[1]) Zuerst von mir beschrieben in der Festschrift für Treub, Extrait des Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg. 2. série Suppl. III, 1909, p. 29—33.

[2]) Wegen der Eisenoxyd enthaltenden Hülle habe ich dieser neuen Bakterie den Gattungsnamen Siderocapsa (σιδερος Eisen und καπσα Kapsel) gegeben und um meiner großen Verehrung gegenüber dem um die Botanik und die Leitung des tropischen Gartens in Buitenzorg auf Java so hochverdienten Gelehrten Ausdruck zu verleihen, habe ich diesen Gattungsnamen mit dem Speziesnamen „Treubii“ verbunden.

könnten, allein ich konnte, obwohl ich mir viel Mühe gab und sorgfältig darauf achtete, solche Organismen nie darauf bemerken. In dieses rätselhafte Dunkel wurde erst Licht gebracht, als es mir durch eine bestimmte Methodik gelang, den sicheren Nachweis zu bringen, daß es sich um eine in einer Gallerthülle liegende Bakterie handelt. Bei einer Vergrößerung von 300—500, und auch bei stärkerer, sieht man innerhalb des hellen Hofes von Bakterien in der Regel direkt nichts, er erscheint leer. Mit den gewöhnlichen Bakterienfärbungsmitteln (Fuchsin, Methylenblau usw.) ist auch nicht viel auszurichten, da sich die Bakterie samt dem hellen Hof, der eine Kapsel darstellt, sehr schwer oder garnicht färbt. Hingegen fand ich in dem Schiffschen Aldehyd-Reagens[1]) ein ausgezeichnetes Mittel, um die Bakterien deutlich zu machen. Legt man nicht zu alte Wurzelhaare von Salvinia auriculata, die mit Siderocapsa besiedelt sind, in die farblose Schiffsche Lösung, so färben sich nach einiger Zeit die Eisenoxydhöfe deutlich rotviolett und gleichzeitig treten die in den hellen zentralen Höfen liegenden und früher unsichtbaren Bakterien scharf hervor. Auch die Gallertscheiden der Leptothrix ochracea und viele Haftscheiben oder Gallerthüllen von Algen, deren Gallerte von Eisenoxydhydrat durchsetzt ist, nehmen in dem genannten Reagens eine rote Farbe an. Das Eisenoxyd für sich kann die Reaktion nicht hervorrufen, auch geht es ja in dem Schiffschen Reagens in Lösung, es muß also die Gallerte beziehungsweise ein darin enthaltener Stoff sein, der die Reaktion bedingt und der vielleicht aldehydartiger Natur ist. Ob zwischen der Eigentümlichkeit der Gallerthülle, Eisenoxyd zu speichern und dem fraglichen Körper eine Beziehung besteht, wäre möglich, doch wage ich nicht, darüber Bestimmtes auszusagen. In den mit der Schiffschen Lösung behandelten Präparaten sieht man in der hellen Kapsel eine, zwei oder mehrere kokkenartige Bakterien, die gleichfalls eine schwach rötliche Färbung angenommen haben. Gewöhnlich finden sich eine bis zwei oder mehr, sehr selten jedoch mehr als sechs Bakterien in einer Kapsel.

Der größte Durchmesser des Eisenoxydhofes schwankt gewöhnlich zwischen 5—18 μ. Der innere, meist ellipsoidische helle Hof zwischen 1,8—3,6 μ, die darin liegenden Kokken haben einen Durchmesser von 0,4—0,6 μ.

Unsere Bakterie lebt, wie bereits bemerkt, epiphytisch auf den verschiedensten Wasserpflanzen und zwar auf den Wurzeln, Wurzelhaaren

[1]) Das Schiffsche Reagens auf Aldehyd ist bekanntlich eine mit Schwefeldioxyd entfärbte, wässerige Lösung von Fuchsin. Das Reagens färbt sich mit sehr geringen Mengen Aldehyd violettrot.

und den Blättern. Ihre Verbreitung in der Natur ist eine ungeheure. Ich konnte sie feststellen bei Elodea canadensis, E. densa, Sagittaria sagittaefolia, Vallisneria spiralis, Ceratophyllum demersum, Callitriche verna, Trianea bogotensis, Salvinia auriculata, Azolla sp., Lemna minor, Nymphaea-Arten, Potamogeton-Arten, Calla Ellotiana und anderen.

Kultiviert man Wasserpflanzen im Leitungswasser mit 0,1 Manganchlorid, so lagert Siderocapsa in ihrer Scheide hauptsächlich braunes Manganoxyd anstatt oder neben Eisenoxyd ab, sie verhält sich also in dieser Beziehung ganz so wie Leptothrix ochracea.[1])

Eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit der Siderocapsa Treubii besteht darin, daß sie beim Festsetzen auf die Oberhaut eines Blattes stets die auf die Blattfläche senkrecht stehenden Wandstellen bevorzugt. Diese Wände sind von den Bakterien bezw. von ihren ockerigen Scheiden oft ganz bedeckt, so daß sich die dicht beisammenliegenden Bakterien wie ein aus Eisenoxyd bestehendes Maschennetz ausnehmen. Die Figuren 3 (Oberhaut des Blattes von Nymphaea micrantha) und 4 auf Tafel I (Oberhaut des Blattes von Calla Ellotiana) stellen diese Verhältnisse klar dar.

Die Menge der auf Wasserpflanzen angesiedelten Siderocapsa erreicht mitunter einen Grad, der unser Erstaunen erregen muß. Im Herbste 1908 habe ich in einem toten Arm der Moldau bei Prag Elodea gefunden, auf der Siderocapsa in so ungeheuren Massen vorhanden war, daß die Elodearasen auf weite Strecken in toto eine tiefbraune Farbe aufwiesen, wie es die Fig. 5, Tafel I versinnlicht. Die Bakterien saßen dicht beieinander und bildeten eine das Blatt und den Stengel bedeckende ockerige Kruste, die die grüne Farbe der lebenden Pflanze vollständig oder fast vollständig maskierte, Fig. 6, Tafel I.

Nach meinen Erfahrungen kommt der Siderocapsa wegen ihrer ungeheuren Verbreitung in der Natur eine ähnliche Bedeutung zu, wie der Leptothrix ochracea, denn gleich dieser spielt sie bei der Fixierung gelöster Eisenverbindungen eine hochbedeutsame Rolle und greift in den Kreislauf des Eisens zweifellos mächtig ein.

2. *Siderocapsa major n. sp.*

Am 12. Juni 1909 sammelte ich in einem toten Moldauarm bei Branik (Prag) Spirogyra, die ich in Gläser mit Moldauwasser einlegte und im Zimmer stehen ließ. Als ich zwei Tage darauf die am Wasser-

[1]) Molisch, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892. S. 71.

spiegel haftenden Organismen (Deckglasmethode [1]) prüfte, fand ich eine neue Eisenbakterie, die der Siderocapsa Treubii ähnelt, sich aber von ihr dadurch unterscheidet, daß ihr Gallerthof nach außen und innen weniger scharf begrenzt ist, als bei Siderocapsa Treubii, daß in dem Schleimhof häufig eine große Zahl von Zellen zu einer Kolonie vereinigt und die Bakterienzellen viel größer sind. Fig. 7, Tafel II.

Die Zellen sind farblose, kokkenartige kurze Stäbchen, ihre Größe schwankt gewöhnlich zwischen 0,7—1,8 μ. Die zoogloeaartigen Kolonien haben mit dem Eisenhof einen Durchmesser von 5—28 μ. In einer Kolonie finden sich 2—100 Zellen und mehr.

Wegen der unregelmäßigen Begrenzung nach außen macht die Bakterienkolonie, namentlich wenn sie größere Dimensionen annimmt, den Eindruck einer kleinen unregelmäßig gestalteten Zoogloea, deren Schleim von Eisenoxyd durchsetzt und braun gefärbt ist (Fig. 7, Tafel II).

3. *Clamydothrix sideropous n. sp.*

Anfang Juni 1909 gab ich in ein mit Moldauwasser gefülltes Glas Spirogyra. Nach 2—3 Tagen trat auf dem Wasserspiegel eine Fadenbakterie auf, die eine unregelmäßig begrenzte, rundliche Haftscheibe bildet, die von Eisenoxydhydrat durchsetzt und daher rostrot gefärbt ist. Fig. 8, Tafel II. Vom Mittelpunkte der Haftscheibe, der sich wie ein Nebel ausnimmt, erhebt sich ein farbloser unverzweigter Faden, bestehend aus einer dünnen Scheibe, in der zylindrische Bakterienzellen zu einem Faden aneinander gereiht sind. Fig. 8, Tafel II.

Die Haftscheibe hat einen Durchmesser von 6—30 μ. Die Länge des Fadens erreicht 600 μ und darüber. Er ist farblos, unverzweigt und hat eine Dicke von etwa 0,6 μ. Seine Scheide ist stets dünn, sie tritt aber sehr deutlich hervor, wenn die Zellen auseinander rücken oder wenn man mit Gentianaviolett färbt.

Behandelt man die Bakterien mit gelbem Blutlaugensalz (4 %) und verdünnter Salzsäure (5 %), so färbt sich die Haftscheibe tiefblau, auch die Scheide der basalen Zellen nimmt eine blaue Farbe an, gegen die

[1]) Dadurch, daß man ein mit der Pinzette gefaßtes Deckglas auf dem Wasserspiegel mit der Unterseite in Berührung bringt, fischt man häufig Mikroorganismen auf, die man sonst, falls man das Wasser mit einer Pipette schöpft, nicht findet. Ich will diese Methode, die mir vielfach vortreffliche Dienste geleistet hat, kurz als Deckglasmethode bezeichnen und kann sie für die Auffindung solcher Organismen, die sich mit Vorliebe auf der Wasserhaut festsetzen, und für die Beobachtung ihrer eventuellen Keimungsstadien auf das wärmste empfehlen.

Spitze zu aber mit abnehmender Intensität. Die Spitze bleibt gewöhnlich farblos.

Einmal auf diese Bakterie aufmerksam geworden, habe ich sie dann an verschiedenen Orten Böhmens (Friedberg, Hohenfurt usw.), ferner in der Umgebung von Wien und zwar in der Regel auf den Blättern verschiedener Wasserpflanzen festsitzend so häufig vorgefunden, daß ich sie nach meinen jetzigen Erfahrungen als eine häufige Art bezeichnen darf.

Nach den vorliegenden Untersuchungen kennen wir demnach heute im Ganzen 8 gut beschriebene Eisenbakterien. Es sind die folgenden:

1. Chlamydothrix ochracea (Kütz.) Mig. = Leptothrix ochracea Kütz.
2. „ ferruginea (Ehrenbg.) Mig. = Gallionella ferruginea Ehrenbg.
3. „ sideropous Molisch.
4. Clonothrix fusca Schorler.
5. Cladothrix dichotoma Cohn = Sphaerotilus dichotoma (Cohn) Mig.
6. Crenothrix polyspora Cohn = Crenothrix Kühniana Zopf.[1])
7. Siderocapsa Treubii Molisch.
8. „ major Molisch.

Die meisten, nämlich die ersten sechs, gehören zu den Fadenbakterien, die beiden letzten von mir aufgefundenen würden im Bakteriensystem ihrer Morphologie nach an anderer Stelle des Systems untergebracht werden müssen, vom physiologischen Gesichtspunkte können wir sie aber der Gruppe der Eisenbakterien ohne weiteres anreihen. Im Anschlusse sei erwähnt, daß Ellis in letzter Zeit sechs neue Eisenbakterien aufgefunden und beschrieben hat. Bei Renfrew (Schottland) fand er in einem ockerhaltigen Graben eine Eisenbakterie, die er Spirophyllum ferrugineum[2]) nennt und die ein ziemlich breites schraubenförmig gedrehtes Band darstellt, das an die breiteren Fäden der Gallionella erinnert.

Bei der Untersuchung der Eisenwässer in Schottland, England und Wales entdeckte er noch fünf weitere neue Eisenbakterien[3]), die er

---

[1]) Über andere Synonyma dieser und der vorhergehenden Arten vgl. S. 16 ff.

[2]) Ellis, D., On the Discovery of a new Genus of Thread-bacteria (Spirophyllum ferrugineum, Ellis) Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Vol. XXVII. Part I. No. 6, p. 21 (1907). Vgl. auch Ellis, D., A contribution to our knowledge of the thread-bacteria I. Zentralbl. f. Bakteriologie usw. II. Abt. Bd. XIX. 1907, Nr. 16/18, S. 502. Ferner den zweiten Teil dieser Abhandlung ebenda Bd. 26, 1910, S. 321.

[3]) Ellis, D., A Preliminary Notice of Five New Species of Iron-Bacterie. Ebenda. Vol. XXVIII, Part V. No. 19, S. 338 (1908).

beschreibt und abbildet. Es ist nicht leicht, sich aus den sehr schematisch gehaltenen Abbildungen ein Urteil über den Bau dieser Bakterien zu bilden und da der genannte Autor weitere ausführliche Mitteilungen über seine Eisenbakterien in Aussicht stellt, so gehe ich vorläufig nicht näher darauf ein. Ich hatte nur Gelegenheit, eine von den von Ellis beschriebenen Bakterien zu sehen, das Spirophyllum ferrugineum und habe mich darüber auf S. 24—26 geäußert.

Im Anschlusse an die Schilderung dieser neuen Eisenbakterien seien im folgenden die Beschreibungen der bereits bekannten[1]) Eisen-Fadenbakterien gegeben.

Crenothrix Cohn.

Fadenbildende Bakterien. Fäden ohne Verzweigung mit Gegensatz von Basis und Spitze, festsitzend, nach der Spitze zu gewöhnlich dicker werdend. Scheide bei entleerten Fäden deutlich sichtbar, gewöhnlich farblos, nur bei alten Fäden von eingelagertem Eisenoxydhydrat bräunlich. Zellen zylindrisch bis kugelig-scheibenförmig. Vermehrung durch unbewegliche runde Gonidien, die aus den vegetativen Zellen durch Teilung und Abrundung hervorgehen, wobei sich die Zellen dickerer Fäden nach drei Richtungen, die der dünneren Fäden nur senkrecht zur Längsachse des Fadens teilen. Die Gonidien werden entleert und gelangen alsbald zur Keimung. Nur eine Art.

Crenothrix polyspora Cohn.

Literatur und Synonyma: Crenothrix polyspora Cohn, Über den Brunnenfaden usw., Beiträge zur Biol. d. Pflanzen, Bd. I, Jahrg. 1875, Heft I. S. 108—131. — Zopf, Entwicklungsgeschichtliche Untersuchung über Crenothrix polyspora usw., Berlin 1879. — Leptothrix Kühniana Rabenhorst, Algen Sachsens, Nr. 284. — Migula (System der Bakterien, Bd. II, 1900, S. 1033) bemerkt dazu, daß es ihm nicht gelungen sei, in dem Exsikkatenwerk Rabenhorsts echte Crenothrix polyspora aufzufinden, vielmehr war das, was er fand, ein Gemenge von Leptothrix ochracea und Gallionella ferruginea. Daher ist er der Ansicht, daß der Cohnsche Name zu Recht bestehen bleibt. — Crenothrix Kühniana Zopf, Zur Morphologie der Spaltpflanzen usw. 1882. S. 36. — Rößler, Über Kultivierung von Crenothrix polyspora auf festem Nährboden. Archiv der Pharmazie, Bd. 233, Berlin 1895. S. 189—191. — Adler, Über Eisenbakterien usw. Zentralbl. f. Bakteriologie usw. II. Abt. Bd. 11. 1903. S. 215. — Schorler, Beitr. z. Kenntnis d. Eisenbakterien, ebenda. Bd. 12. 1904. S. 681.

In eisenhaltigen Wässern, namentlich in Brunnen, Drainröhren und Wasserleitungen Mitteleuropas verbreitet. Ruft in den Wasserleitungen

[1]) Vgl. darüber auch Ruhlmann, W. Die Eisenbakterien in Lafars Handbuch der techn. Mykologie. 2. Aufl., Bd. III, 2. Abschnitt, S. 193—213.

der Städte bei Verunreinigung mit organischen Substanzen durch ihr massenhaftes Auftreten arge Kalamitäten hervor.

Es wird häufig (Cohn) angegeben, daß die Scheiden einen von Eisenoxydhydrat herrührenden gelblichen oder bräunlichen Farbenton

Fig. 1.
Crenothrix polyspora Cohn. Habitusbild. Die dunkle Masse in der Mitte ist Eisenoxydhydrat, in und auf welcher die Fäden befestigt sind. Vergr. 32.

Fig. 2.
Crenothrix polyspora Cohn. Fadenstücke mit deutlich sichtbarer Scheide und den Zellen. Durch Teilung dieser entstehen in den Fäden a u. b die Gonidien. Vergr. ca. 320.

haben, der die Räschen in gelbbrauner Farbe erscheinen läßt. Nach meinen Erfahrungen, die sich auf das Vorkommen der Crenothrix in der Prager Wasserleitung beziehen, rührt diese Farbe gewöhnlich nicht von den Scheiden her, denn diese fand ich gewöhnlich farblos, sondern von gelatinösen Eisenoxydhydratbröckchen, in denen und auf denen die Crenothrixfäden festsitzen.[1]) Ich will aber nicht bestreiten, daß eine

[1]) Die von Zopf aus Tafel III seiner Abhandlung über Crenothrix (l. c.) abgebildeten rostroten Fäden scheinen meiner Ansicht nach überhaupt nicht der Crenothrix anzugehören und dürften höchstwahrscheinlich Bruchstücke der Stiele von Anthophysa vegetans sein. Ebenso ist die Abbildung in dem Artikel Rullmanns über Eisenbakterien in Lafars „Handbuch der technischen Mykologie", 2. Aufl., Bd. III, Tafel VI überhaupt keine Crenothrix, sondern

Eisenabscheidung in den Scheiden, namentlich in alten, unter Umständen häufig eintreten kann, denn die einschlägigen Angaben Cohns lauten zu bestimmt. Die Bakterienzellen selbst sind stets farblos.

Die Gonidien haben sehr verschiedene Größen, weshalb Cohn Makro- und Mikrogonidien unterschied. Es kommen aber Übergänge in ein und demselben Faden vor. Sie sind kugelig oder etwas zylindrisch mit abgerundeten Enden. Der Durchmesser der kugeligen schwankt zwischen 1,9—4 μ, die Längsachse der zylindrischen erreicht bis 7,6 μ — siehe das Habitusbild Fig. 1. — Die Länge der Räschen beträgt $^1/_2$—3 mm, die Dicke der einzelnen Fäden 2,7—7 μ, die der Gonidien erreicht bis 13 μ, ihre Länge bis 1,3 mm, siehe Fig. 2.

Cladothrix dichotoma Colm.[1])

Literatur und Synonyma: Cladothrix dichotoma Cohn, Untersuchungen über Bakterien. II. Beitr. zur Biologie usw., Bd. I, 1875, Heft 3. S. 185. — Cienkowski, Zur Morphologie der Bakterien, Petersburg 1877. — Zopf, Zur Morphologie der Spaltpflanzen usw., 1882, S. 1. — Winogradsky, Beitr. zur Morphologie und Physiologie der Bakterien, Leipzig 1888, Heft 1. — Fischer, A., Untersuchungen über Bakterien, Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXVII, 1895, S. 122. — Migula, Sphaerotilus dichotomus (Cohn) Migula, System der Bakterien, Bd. II. 1900. p. 1035. — Büsgen, Berichte der Deutschen botan. Ges. 1894. S. 147. — Höflich, Kultur und Entwicklungsgeschichte der Cladothrix dichotoma Cohn. Österr. Monatsschrift für Tierheilkunde, Wien 1901, S. 4.

Meist farblose Flöckchen, festsitzend, aus Fäden bestehend, die niemals echt, sondern in weiten Abständen wiederholt unecht dichotom verzweigt sind. Die Fäden setzen sich aus stabförmigen, ovalen oder länglichen Zellen zusammen, die von einer dünnen festen Scheide umgeben sind. Fäden durchschnittlich 2 μ dick, mit Gegensatz von Spitze und Basis. Indem die Stäbchen sich innerhalb der Scheide teilen, werden die vorderen nach der Spitze des Fadens gedrängt oder sie wachsen unter entsprechender Auftreibung der Scheide aneinander vorbei, wobei die

die dort dargestellten Fäden sind höchstwahrscheinlich die Gallertstiele von dem Glockentierchen Epistylis, welche, wie ich wiederholt bemerkt habe, sich durch Einlagerung von Eisenoxydhydrat gleichfalls bräunlich zu färben vermögen.

[1]) Migula stellt Cladothrix zu Sphaerotilus. Ich habe vorläufig davon Abstand genommen, weil Bau und Entwicklung der letzteren Gattung noch mangelhaft bekannt sind und weil sich nach Gewinnung von Reinkulturen der Sphaerotilus natans und nach einem genaueren Studium dieser vielleicht doch herausstellen dürfte, daß die Aufstellung der Gattung Cladothrix neben Sphaerotilus berechtigt ist. Migula sagt, die Gattung Sphaerotilus erzeuge dichotom verzweigte Fäden ohne Gegensatz von Spitze und Basis. Aber die Fäden der Cladothrix dichotoma, die er zu Sphaerotilus stellt, lassen doch deutlich Spitze und Basis unterscheiden.

beiden oder auch nur die eine der einseitig freiwerdenden Polzellen selbständig weiter wachsen und die nun entstehenden Äste gewöhnlich in losem Verband verbleiben. Auf diese Weise entsteht die falsche Dichotomie (Fig. 3 a, Habitusbild und Fig. 3 b). Die Vermehrung geschieht durch unbewegliche und durch schwärmende Gonidien, die gestaltlich den vegetativen Zellen gleichen und sich aus diesen dadurch entwickeln,

Fig. 3 a. Fig. 3 b.

Cladothrix dichotoma Cohn.

a Habitusbild. Fäden auf einem Elodea-Blattstück aufsitzend. Vergr. ca. 43. b Fäden stärker vergrößert (Vergr. etwa 260), die falsche Dichotomie und die Scheiden zeigend.

daß sich seitlich unterhalb des einen Endes ein Büschel von Geißeln bildet. Sie schwärmen nach dem Verlassen der Scheide einige Zeit umher, setzen sich dann fest und keimen zu neuen Fäden aus. — Ein namentlich in mit organischen Substanzen verunreinigten Wässern sehr häufiger und weit verbreiteter Organismus.

Clonothrix Schorler.

Schorler, der Entdecker dieser Eisenbakterie, gibt folgende Diagnose: Fäden dichotom oder unregelmäßig verzweigt, festsitzend, mit Gegensatz von Basis und Spitze, nach den freien Enden allmählich dünner werdend. Scheide stets vorhanden, an jungen Fäden dünn,

später dicker werdend, und Eisenoxydhydrat oder die entsprechende Manganverbindung speichernd. Zellen zylindrisch bis flach scheibenförmig. Vermehrung durch kleine, unbewegliche Gonidien von kugeliger Form, die durch Längsteilung und Abrundung aus den vegetativen scheibenförmigen Zellen kurzer Zweige hervorgehen, einzeln aus den Spitzen hervortreten und auskeimen. Nur eine Art.

Clonothrix fusca Schorler.

Fig. 4.
Clonothrix ferruginea Schorler. *a* Fadenstück, die Scheide und die zylindrischen Zellen zeigend. *b* pseudodichotom verzweigt. *c* Faden unregelmäßig verzweigt. *d* Fadenstück mit beginnender Gonidienbildung. Vergr. ca. 580.

Literatur: Schorler, Beiträge z. Kenntnis der Eisenbakterien. Zentralbl. f. Bakteriologie usw., II. Abt. XII, 1904, S. 689.

„Fäden und Äste von wechselnder Dicke, an der Basis mit der Scheide durchschnittlich 5 bis 7 μ dick und an der Spitze sich auf 2 μ verschmälernd, an alten Scheiden mit Manganeinlagerung sind jedoch sogar 24 μ Breite festgestellt worden. Die Farbe der Fäden wechselt, je nach dem Alter und den Nährstoffen im Wasser, von farblos bis gelb- und dunkelbraun. Die Zellen sind ca. 2 μ dick und gewöhnlich 6—8 μ lang, es kommen aber auch Längen von 12—16 μ, ja sogar von 20 μ vor. Bei scheibenförmigen Zellen ist die Dicke

gewöhnlich größer als 2 μ. Die verzweigten Fäden bilden Räschen, die bis zu 2,5 mm lang werden.“ Siehe Fig. 4.

Diese Bakterie, welche wahrscheinlich früher oft mit Cladothrix dichotoma zusammengeworfen wurde, wurde von Schorler zuerst in einem Wasserwerk von Dresden und Meißen entdeckt, später von Ruttner (l. c.) und mir auch in der Prager Wasserleitung aufgefunden. Sie findet sich häufig in Gesellschaft von Crenothrix, ich habe Eisenoxydhydratpartikelchen oft gleichzeitig von Crenothrix und Clonothrix besiedelt gefunden.

Chlamydothrix ochracea (Kütz.) Mig.

Literatur und Synonyma: *Leptothrix ochracea* Kützing, Phytologia generalis (1843), S. 198. — *Cladothrix dichotoma* exp. Zopf, Zur Morphologie der Spaltpflanzen, 1882, S. 5. — Molisch, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892, S. 60. — Ellis, A contribution to our knowledge of the thread-bacteria I, Zentralbl. f. Bakteriol. usw., II. Abt., Bd. XIX, 1907, S. 503 und II., ebenda, Bd. XXVI, 1910, S. 321.

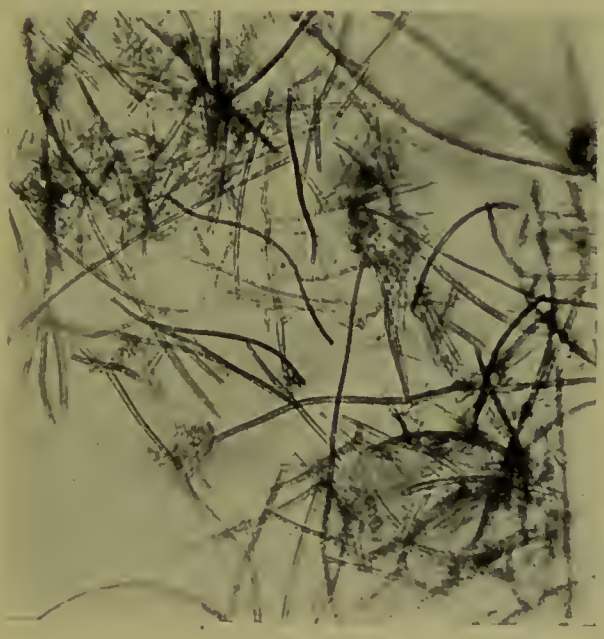


Fig. 5.
Chlamydothrix ochracea Mig.
Leere Scheiden aus einer schleimigen ockerigen Masse, wie sie sich in der Natur häufig in Wässern torfiger Wiesen vorfindet. Vergr. etwa 300.

Fig. 6.
Chlamydothrix ochracea Mig. Fäden, mit dicker von Eisenoxydhydrat durchsetzter Gallerthülle umschlossen. *a* ein Faden mit verd. Salzsäure behandelt. Die Gallerthülle ist undeutlich geworden, die Zellen treten scharf hervor. Vergr. ca. 260.

Fäden bestehend aus zylindrischen farblosen Zellen, mit anfangs farbloser dünner, später dicker, gelb- und braunwerdender Scheide (Fig. 10).

Junge Fäden 0.9 μ. Durch Inkrustation mit Eisenoxydhydrat wird die Scheide allmählich dicker, gelb bis rostbraun und der Faden erreicht hierdurch die doppelte oder manchmal sogar die mehrfache Dicke der Zellen (Fig. 6). Durch Behandlung mit 2—5 % Salzsäure löst sich das Eisenoxyd, die Gallerthülle wird undeutlich (Fig. 6 a) und die Zellen, von einer zarten Innenschicht der Hülle umgeben, treten scharf hervor. Die Vermehrung erfolgt durch Teilung und Abgliederung der Zellen und durch bewegliche zylindrische Schwärmer, die nach einiger Zeit zur Ruhe kommen, sich gewöhnlich festsetzen und wieder zu Fäden auskeimen mit deutlicher Spitze und Basis.

Die Schwärmer (Fig. 7) setzen sich häufig an schon vorhandene Fäden fest, keimen hier zu Fäden aus und täuschen hier Verzweigung

Fig. 7.

Chlamydothrix ochracea Migula. Schwärmer aus einer Kolonie einer Manganpeptonreinkultur. Daneben ein aus einem Schwärmer entstandener Faden *f*, auf dem sich Schwärmer festsetzen, zu Fäden auskeimen und dann einen verzweigten Faden vortäuschen. Vergr. ca. 945.

vor (Fig. 7). Pseudodichotome Verzweigung kommt vor, aber selten und nie so regelmäßig wie bei Cladothrix.

Alte Scheiden entleeren ihre Zellen, bleiben als rostrote Röhrchen übrig (Fig. 5) und bilden dann oft kolossale Mengen ockeriger Massen in eisenhaltigen Wässern und mitunter auch in Raseneisenerzen.

Die „Ockerbakterie" ist eine der häufigsten Eisenbakterien und wahrscheinlich Kosmopolit.

Gallionella ferruginea Ehrenberg.

Literatur und Synonyma: Gallionella ferruginea Ehrenberg in Poggendorfs Annalen, II. Reihe, Bd. VIII, 1836, S. 217. — Glocotila ferruginea Kützing, Species algarum (1849), S. 363. — Spirulina ferruginea Kirchner in Kryptogamenflora von Schlesien, Algen, 1878, S. 250. — Gloeosphaera ferruginea

Rabenhorst. — Leptothrix ochracea Hansgirg, Algenflora von Böhmen, II, 1893, S. 184. — Migula, Über Gallionella ferruginea Ehrenberg, Bericht d. deutsch. bot. Ges, Bd. XV, 1897, S. 321 und System der Bakterien, l. c. S. 1031. — Adler, Über Eisenbakterien usw., l. c. S. 277. — Schorler, Beiträge zur Kenntnis der Eisenbakterien, l. c. S. 692. — Schorler, Die Rostbildung in den Wasserleitungsröhren. Zentralbl. f. Bakteriol. usw., II. Abt., Bd. XV, 1905, S. 564. — Ellis, A contribution to our knowledge of the thread-bacteria I. Zentralbl. f. Bakteriol., II. Abt., Bd. XIX, 1907, S. 505. — Ellis, Spirophyllum ferrugineum Ellis, On the discovery of a new genus of thread-bacteria. Proceedings of the royal society of Edinburgh, Vol. XXVII, part. 1 (No. 6), 1907.

Fäden geschlängelt, einfach (Fig. 8, a) oder je zwei schraubenförmig dicht um einander gewunden und daher einen Zopf bildend (Fig. 8, b). Hierdurch gewinnt der Faden oft ein kettenartiges Aussehen. Fäden in der Jugend farblos, später infolge von Eisenoxydhydrateinlagerung gelbbräunlich bis rostrot. Gewöhnlich sind die Doppelfäden eng verschlungen, stellenweise lösen sie sich aber deutlich in die Einzelfäden auf (Fig. 8, b), ähnlich wie man dies bei Spirulina beobachten kann. Ist der schraubig gewundene Faden breiter oder vereinigen sich zwei solche Fäden zu einem Zopf, so entsteht ein kettenartiger Faden, dessen einzelne Glieder früher fälschlich für Sporen gehalten worden sind. Die Einzelfäden zeigen keine Gliederung in Zellen, selbst nicht nach Behandlung mit Farbstoffen und verdünnten Säuren und zeigen auch keine nachweisbare Scheide. Durch hochgradige Inkrustation mit Eisenoxyd können

Fig. 8.
Gallionella ferruginea Ehrenbg. aus der Karlsbader Eisenquelle. *a* Einzelfäden, *b* Doppelfäden einen Zopf bildend, *c* breitere Fäden, *d* ein mit Eisenoxydhydrat stark inkrustierter Faden. Vergr. etwa 830.

die Fäden und ihr Verlauf ganz verdeckt werden (Fig. 8. d). Breite der Fäden bezw. Zöpfe 1—6 μ. Länge bis 270 μ und darüber.

In eisenhaltigen Wässern häufig und weit verbreitet. Läßt sich vorläufig nicht kultivieren.

Migula hat diese Bakterie zuerst richtig geschildert und zur Gattung Chlamydothrix gestellt. Ich bin jedoch diesem Vorschlage nicht gefolgt, weil die Chlamydotricheen durch eine Scheide ausgezeichnet sind, die ich bei Gallionella niemals beobachtet habe. Schon dieser Umstand muß Bedenken erregen, Gallionella Chlamydothrix zu nennen. Dazu kommt noch, daß von einer Gliederung der Fäden in Zellen nicht das Mindeste zu sehen ist. Vielleicht wird man, wenn es einmal gelingen sollte, Gallionella rein zu kultivieren und ihre Entwicklung Schritt für Schritt zu verfolgen, den Bau der Fäden besser erforschen können; derzeit erscheint es mir aber besser, den alten Ehrenbergschen Namen noch aufrecht zu erhalten.

Ehrenberg will beobachtet haben, daß die Gliederfäden der Gallionella sich in Salzsäure nur zum Teil lösen und ist daher der Meinung, daß der Faden neben Eisenoxyd auch Kieselsäure enthält. Ich kann diese Beobachtung nicht bestätigen. Der Gallionellafaden verschwindet in konzentrierter Salzsäure völlig, es ist daher Kieselsäure in nachweisbarer Form nicht vorhanden.

Im Jahre 1897 hat Ellis[1]) eine neue Eisenbakterie unter dem Namen Spirophyllum ferrugineum beschrieben und auch abgebildet. Die Diagnose lautet: „Body of cell elongated, flattened, and spirally twisted. The number of spiral turns may vary from a quarter turn to fifteen and more turns. The width varies from 1 μ to 6 μ. The length may reach to 200 μ and possibly more. The middle portion of the cell has a thickness of $^1/_4$—$^2/_5$ μ, but the edge is thickned up to $^1/_2$ μ. There is no definite membrane, but the edge is thickened so as to form a kind of rampart all round the cell. The ends are usually irregular, angular, and unsymmetrical. The spirals may be very close or very wide apart, but the majority of the individuals have spiral lengths three or four times greater than the width. The organism has, so far, been found only in iron-water, and, except in the youngest stages, is coated with a thick deposit of ferric hydroxide."

[1]) Ellis, D., On the discovery of a new genus of thread-bacteria (Spirophyllum ferrugineum). Proceedings of the royal society of Edinburgh. Vol. XXVII, part. I (No. 6), 1897, S. 21. Vgl. auch: Ellis, D., A contribution to our knowledge of the thread-bacteria I. Zentralbl. f. Bakteriol., Bd. XIX. 1907. S. 516.

Der wesentliche Unterschied zwischen Gallionella und Spirophyllum wäre nach Ellis der, daß die erstere stets zylindrische, die letztere bandförmige Fäden besitzt. Herr Ellis hatte die Liebenswürdigkeit, für die ich ihm zu großem Danke verpflichtet bin, mir auf meine Bitte hin eine Probe seines Spirophyllum zu senden. Sie bildete in einer kleinen mit Wasser gefüllten Eprouvette einen etwa $^1/_2$ cm hohen ockerigen Absatz, der neben Eisenoxydhydrat vorzugsweise aus den meist kurzen Bruchstücken einer Eisenbakterie bestand, die Ellis Spirophyllum ferrugineum benannt hat.

Tatsächlich erscheinen hier die gewundenen, kettenartig aussehenden Fadenstücke zumeist bandförmig und relativ breit. (Siehe Fig. 9.) Ob nun die typischen zylindrischen Gallionellafäden und diese bandförmigen zusammengehören oder etwas verschiedenes sind, ist schwer zu entscheiden, absolute Gewißheit können wohl nur Reinkulturen bringen, die aber bisher noch nicht gelungen sind.

Fig. 9.
Gallionella ferruginea v. lata.
Breitere Fadenstücke, die bandförmigen (*a*) von Ellis als Spirophyllum, die knotigen (*b*) als Nodofolium beschrieben.
Vergr. ca. 580.

Im Karlsbader Eisenwasser, das, nebenbei bemerkt, nicht im Handel vorkommt und das ich der Güte des Herrn Dr. Adler verdanke, finden sich in dem ockerigen Absatz, der sich beim Stehen in den Flaschen spontan bildet, verschiedene Übergänge von typischer Gallionella bis zu jener Form, die Ellis Spirophyllum nennt. Entweder liegen hier tatsächlich zwei verschiedene Organismen vor oder Gallionella vermag zylindrische und bandförmige Formen hervorzubringen. Da es mir, obwohl ich viel Zeit und Mühe darauf verwandt habe, nie gelungen ist, Gallionella zu züchten, bin ich außer Stande, derzeit eine Entscheidung zu treffen und es erscheint mir bei dieser Sachlage zweckmäßig, die bandförmigen Fäden provisorisch noch bei Gallionella zu belassen und sie Gallionella ferruginea var. lata zu nennen. In neuester Zeit hat Ellis noch eine neue Eisenbakterie unter dem Namen Nodofolium ferrugineum[1]) beschrieben, die sehr an sein Spirophyllum erinnert, die ich aber, solange wir die Entwicklung dieses Organismus nicht genauer kennen, vorläufig gleichfalls zu der breiten Form der Gallionella stellen möchte.

[1]) Ellis, D., A contribution etc. l. c. 1910, p. 321.

Ich bemerke noch, daß breitere, schraubenförmig gedrehte Gallionellafäden (Ellis' Spirophyllum und vielleicht auch Nodofolium) bereits von Mettenheimer[1]), Migula[2]) und in neuerer Zeit besonders von Schwers[3]) abgebildet worden sind und daß sie sich nach meinen Beobachtungen auch in den Rostmassen eiserner Wasserleitungsröhren nicht selten vorfinden.

Auffallenderweise neigen sowohl Mettenheimer als auch Schwers zu der Ansicht, daß Leptothrix ochracea und Gallionella ein und dasselbe ist, ja Schwers spricht es geradezu direkt aus:

„Tout nous porte donc à croire avec Hansgirg, qu'il s'agit d'une seule et même espèce" (p. 53).

Heute, da wir Leptothrix rein züchten und entwicklungsgeschichtlich genau verfolgen können, kann es aber keinem Zweifel unterliegen, daß die eben erwähnten Organismen zwei überaus verschiedene und für den Kenner auf den ersten Blick zu unterscheidende Bakterien sind. Aus einer Leptothrix wird nie eine Gallionella und aus dieser nie eine Leptothrix.

Um die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Eisenbakterien übersichtlich zur Anschauung zu bringen und ihre Bestimmung zu erleichtern, verweise ich auf die Textfiguren 1—9 und gebe zum Schlusse noch den folgenden Bestimmungsschlüssel:

Fadenbakterien 1
Kapselbakterien 6

1. Fäden immer unverzweigt 2
   „ unverzweigt oder pseudodichotomisch verzweigt 4
2. „ mit brauner Haftscheibe . . . *Chlamydothrix sideropous*
   „ ohne Haftscheibe 3
3. „ mit deutlicher Scheide, gegen die Spitze oft breiter werdend. Zellen teilen sich bei der Gonidienbildung nach den drei Richtungen des Raumes . . . . *Crenothrix polyspora*
   „ mit nicht nachweisbarer Scheide. Schraubig gewunden. Zwei Fäden häufig zu einem Zopfe schraubenförmig gedreht . . . . . *Gallionella ferruginea*

[1]) Mettenheimer, C., Über Leptothrix ochracea Kütz. und ihre Beziehung zur Gallionella ferruginea Ehr. Abhandl., herausgegeben von der Senckenbergischen naturforsch. Ges. II. Bd., Frankfurt a. M. 1856—1858, S. 139.

[2]) Migula, W., Über Gallionella ferruginea Ehrenb. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 15. Bd. 1897, S. 321—327.

[3]) Schwers, H., Le fer dans les eaux souterraines. Revue d'Hygiène et de police sanitaire T. XXX, 1908, Paris, p. 53.

4. Fäden entwickeln auch Schwärmer 5
„ „ nur unbewegliche kugelige Gonidien,
Clonothrix fusca
5. „ regelmäßig pseudodichotom verzweigt, gewöhnlich farblos,
Cladothrix dichotoma
„ gewöhnlich unverzweigt, die Scheide älterer Fäden stark mit Eisen- oder Manganoxyd inkrustiert und daher rostbraun . . . . . *Chlamydothrix ochracea*
6. Kapsel enthält nur wenige (1—8) Zellen . *Siderocapsa Treubii*
„ „ 1—100 Zellen . . . . . *Siderocapsa major.*

III.

Die Reinkultur der Eisenbakterien.

Bekanntlich hat Winogradsky[1]) behauptet, daß das Eisen im Leben der Eisenbakterien eine ganz besondere Rolle spielt, insofern sie das im Wasser gelöste kohlensaure Eisenoxydul ins Plasma aufnehmen, hier oxydieren und das Oxyd in ihrer Scheide in unlöslicher Form ablagern. Ohne Zufuhr von Eisenoxydul wachsen nach Winogradsky die Fäden von Leptothrix ochracea überhaupt nicht und daher ist er der bestimmten Meinung, daß die Lebensprozesse der Eisenbakterien ausschließlich oder hauptsächlich auf Kosten der bei der Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd freiwerdenden Wärme (aktuelle Energie) ablaufen.

Ich habe schon in meinem vor 18 Jahren erschienenen Buche[2]) Stellung gegen Winogradskys Hypothese genommen und mich auf Grund von Experimenten und Erwägungen, von denen noch weiter unten die Rede sein wird, gegen ihre Berechtigung ausgesprochen.

Seit dieser Zeit ist diese strittige Frage eigentlich von Niemandem experimentell geprüft worden, sondern man stimmte entweder Winogradsky zu und ignorierte meine Einwände oder man registrierte unsere beiden Ansichten und entschied sich bald für Winogradsky, bald für mich oder man machte die definitive Entscheidung von neuen Untersuchungen, insbesondere von dem Gelingen von Reinkulturen abhängig. In der Tat bin auch ich der Meinung, daß der hin- und herwogende Kampf nur an der Hand der Reinkultur einer typischen Eisenbakterie, wenn möglich der Leptothrix ochracea, endgültig entschieden werden wird und deshalb habe ich seit etwa 15 Jahren, allerdings mit Unterbrechungen, immer wieder meine Bemühungen über die Reinkultur

[1]) Winogradsky, S., Über Eisenbakterien. Botan. Zeitg. 1888. S. 261.

[2]) Molisch, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892, S. 60.

der „Ockerbakterie“ Leptothrix aufgenommen, bis sie endlich von glänzendem Erfolg gekrönt waren. Bevor ich näher darauf eingehe, will ich zunächst übersichtlich darüber berichten, wie weit Reinkulturen von Eisenbakterien überhaupt bis jetzt gelungen sind.

A. Die angebliche Reinkultur von Crenothrix polyspora Cohn.

Im Juni 1893 hatte Rößler[1]) Gelegenheit, einen Teil eines Kanalbaues zu sehen, dessen 25 cm dicke Ziegelsteinwände innerhalb von 3 Jahren vollständig von Crenothrix durchwachsen waren. Er versuchte, aufmerksam gemacht durch dieses natürliche Substrat, den Pilz auf sterilisierten, im Wasser, dem etwas Eisenvitriol zugesetzt war, liegenden Ziegelsteinen zu kultivieren. Rößler sagt: „Seit zwei Jahren züchte ich bei gewöhnlicher Zimmertemperatur diesen Pilz mit bestem Erfolg, dessen Reinkultur unschwer zu erhalten ist, da die Ziegelstückchen durch Ausglühen leicht steril zu erhalten sind.“

Es ist sehr zu bedauern, daß der genannte Autor die Art und Weise, wie er zu seinen angeblichen Reinkulturen gekommen ist, nicht genauer angegeben hat. Wenn er auch den Inhalt seines Kulturgefäßes sterilisiert hat, wie kam er zu reinem Impfmaterial? Davon wird überhaupt nicht gesprochen. Und wenn Rößler direkt von den mit Crenothrix besetzten, im Kanal gefundenen Ziegelsteinen abgeimpft hat, was sehr wahrscheinlich ist, so kann doch schwerlich von einer Reinkultur die Rede sein. Auch gibt er an, daß dem Wasser nur Eisenvitriol zugesetzt wurde, es wäre also nach dieser Darstellung ein Zusatz irgend einer organischen Substanz ganz überflüssig. Woher nahm Crenothrix in diesen Versuchen den Kohlenstoff und den Stickstoff? Gelänge die Kultur wirklich so, wie es Rößler angibt, dann stände man vor einem hochinteressanten Resultat, Crenothrix müßte dann wie eine grüne Alge oder wie eine Nitrobakterie im Stande sein, Kohlensäure zu assimilieren. Diese Konsequenzen der eben angeführten Kulturversuche scheinen Rößler gar nicht zu Bewußtsein gekommen zu sein.

Ich habe schon vor 15 Jahren, als ich nach Prag an die deutsche Universität berufen wurde, die Rößlerschen Kulturversuche wieder aufgenommen, aber stets mit negativem Ergebnis. Niemals war es mir nach der

[1]) Rößler, O., Über Kultivierung von Crenothrix polyspora auf festem Nährboden. Archiv der Pharmazie, herausgegeben vom deutschen Apothekerverein, Bd. 233, Berlin 1895, S. 189—191.

Derselbe: Der Nachweis von Crenothrix polyspora im Trinkwasser. Deutsche medizinische Wochenschrift 1906, Nr. 40, S. 1628—1629.

Art, wie sie Rößler beschreibt, gelungen, auf sterilisierten Ziegelsteinen, weder auf frischen noch auf alten, in Moldauwasser mit verschiedenen Mengen von Eisenvitriol Crenothrix zu züchten. In den letzten zwei Jahren habe ich, ausgerüstet mit neuen Erfahrungen über die Kultur von Eisenbakterien, neuerdings die Rößlerschen Versuche wieder aufgenommen und sie verschieden modifiziert, jedoch immer vergebens. Zu dem gleichen Ergebnis kam auch in meinem Laboratorium Adler. Er sagt: „Mit der von Rößler speziell zur Kultur von Crenothrix polyspora angegebenen Methode habe ich niemals ein positives Resultat zu erzielen vermocht".[1])

Auch Richter[2]) zweifelt mit Recht auf Grund der Rößlerschen Darstellung an dem angeblichen Erfolge der Reinkultur von Crenothrix.

Crenothrix scheint überhaupt in seinem Gedeihen von ganz bestimmten Bedingungen abhängig zu sein, denn es ist mir, auch abgesehen von Ziegelsteinsubstrat und Eisenvitriollösung niemals gelungen, den Brunnenfaden in irgendwelchen Nährlösungen zu ziehen. Impft man z. B. jene Kulturlösungen, in denen sich Leptothrix ochracea auf das Üppigste entwickelt, mit Räschen von frischer gesunder Crenothrix, so findet keine weitere Entwicklung statt und dasselbe gilt nach meinen Erfahrungen auch von Gallionella.

B. Die Reinkultur von Cladothrix dichotoma Cohn.

Der erste, welcher diese Bakterien rein kultivierte, war Büsgen.[3]) Er verschaffte sich zunächst das Rohmaterial, indem er sehr verdünnte Fleischextraktlösungen in gewöhnlichem Brunnenwasser mit einem Cladothrixbüschel, wie sie im Schmutzwasser häufig vorkommen, impfte und 2—3 Tage stehen ließ. Nach Verlauf dieser Zeit gießt man Büschel und Flüssigkeit bis auf kleine Reste aus und erneuert die Fleischextraktlösung. Man findet dann nach wenigen Tagen die Seitenwände des Glases mit Cladothrixfäden bedeckt, die sich aus Schwärmern entwickelt und hier festgesetzt haben. Will man von den Roh- zu Reinkulturen gelangen, so fischt man einzelne Cladothrixfäden aus Impfstrichen, die man auf einer nicht zu konsistenten, mit wenig Fleischextrakt versetzten Gelatine gemacht hat. „Die Cladothrixfäden wachsen hier langsam

[1]) Adler, O., l. c., S. 216.

[2]) Richter, Oswald, Die Bedeutung der Reinkultur. Berlin 1907. S. 93.

[3]) Büsgen, M., Kulturversuche mit Cladothrix dichotoma. Berichte der deutschen botan. Gesellschaft. 12. Bd. 1894. S. 147—152.

ohne merkliche Verflüssigung des Substrates zu Anfangs kreisrunden weißen Flecken heraus, welche nach einigen Tagen Höfe von Fäden bekommen, die nach allen Seiten ausstrahlen."

Anknüpfend an die erfolgreichen Kulturversuche Büsgens hatte später Höflich[1]) neuerdings Reinkulturen von Cladothrix hergestellt. Er gewann sie, indem er zunächst Rohkulturen ähnlich wie Büsgen herstellte, und dann die Keime solcher auf Gelatine aussäte, die folgende Zusammensetzung hatte: 1 Liter Wasser, $^1/_2$ g Fleischextrakt und $4^1/_2$ g % feste Gelatine.

In Platten mit dieser Gelatine traten bei Zimmertemperatur schon nach einigen Tagen kleine isolierte, teilweise völlig reine Cladothrixkolonien auf, von denen, um ja reine Kolonien zu erhalten, nochmals abgeimpft wurde. Höflich untersuchte dann mit Hilfe des gewonnenen reinen Materials die Morphologie und Entwicklung der Cladothrix, bezüglich deren Details ich auf das Original verweise. Hier seien nur die Hauptresultate hervorgehoben.

1. Die Cladothrix dichotoma ist künstlich züchtbar in schwachen Bouillon- und dünnen Gelatinelösungen.
2. Sie wächst hier in Fadenform zu weißen, flaumigen Flocken und Büscheln vereinigt, bezw. in Form einer Gläserbürste, ohne diffuse Trübung der Nährflüssigkeit.
3. Gelatine wird durch sie langsam und klar verflüssigt und zugleich braunockerartig verfärbt.
4. Feuchtglänzendes Wachstum an der Oberfläche der Bouillon und der verflüssigten Nährgelatine ist nur ausnahmsweise in Form kleiner Zoogloeamassen als Folge fortgesetzter Gliederteilung beobachtet worden.
5. Das Temperaturoptimum liegt zwischen 25—30° C.
6. Die Cladothrix dichotoma ist eine obligat sauerstoffbedürftige Spaltpilzform.
7. Die Cladothrix bildet festsitzende Fäden und Rasen, die aus stabförmigen, ovalen oder länglichen, hintereinander liegenden Gliedern und einer sie abschließenden Scheide bestehen.
8. Die Fäden sind niemals echt verzweigt; dagegen kommen nicht selten Scheinverzweigungen vor.
9. Es treten ausschließlich Lang- und Kurzstäbchen, aber keine Spirillen und keine Kokken auf, wie von Zopf behauptet wurde.

---

[1]) Höflich, K., Kultur und Entwicklungsgeschichte der Cladothrix dichotoma Cohn. Österr. Monatsschrift f. Tierheilkunde usw. XXV, 1901, S. 4—23 u. S. 49—64.

10. Die Vermehrung geschieht durch Zoosporen und durch unbewegliche Gonidien.

Weder Büsgen noch Höflich haben ihre Reinkulturen zur Prüfung der Frage nach der Richtigkeit der Winogradskyschen Hypothese herangezogen und die Frage überhaupt mit keinem Worte berührt. Cladothrix dichotoma ist auch tatsächlich nicht der für die Untersuchung einer solchen Frage geeignete Organismus, da, wie ich bereits an anderer Stelle bemerkte, Cladothrix in der Regel gar nicht viel Eisen speichert, denn die Fäden erscheinen meist farblos und geben keine oder sehr schwache Eisenreaktion. Immerhin möchte ich schon jetzt betonen, daß, obwohl zu den Medien, welche Büsgen und Höflich anwendeten, niemals eine Eisenverbindung hinzugefügt wurde, die Cladothrix doch vortrefflich gedieh.

Unter den Eisenbakterien kann zur Überprüfung der Winogradskyschen Hypothese keine als geeigneter bezeichnet werden, als Leptothrix ochracea, weil sie die typische Eisenbakterie ist, weil sie massenhaft Eisenoxyd speichert und weil Winogradsky gerade aus seinen mit dieser Bakterie gemachten Beobachtungen seine weittragenden Schlüsse gezogen hat.

Wenn daher die Physiologie der Eisenbakterien aufgehellt werden soll, dann ist es empfehlenswert, wenn möglich gerade diese Bakterie rein zu züchten. Das war aber bisher keinem Bakteriologen gelungen.

C. Die Reinkultur der Chlamydothrix (Leptothrix) ochracea.

Schon Winogradsky[1]) hat eine Methode angegeben, nach der man sich leicht Rohkulturen von Leptothrix ochracea verschaffen kann: „Ich benutze zu diesem Zwecke etwa 50 cm hohe Glaszylinder, in die ich eine Handvoll mazeriertes und in sehr viel Wasser ausgekochtes Heu legte, etwas frisch gefälltes Eisenoxydhydrat darauf schüttete und dann dieselben mit Brunnenwasser füllte. Sobald eine Gasentwicklung bemerkbar wird, erscheinen die ersten rostfarbenen Flöckchen und Räschen auf der Oberfläche des Wassers und an den Gefäßwänden. Im Laufe von 8—10 Tagen wurden die Gefäßwände mit dichten, gelbbraunen Rasen vollständig ausgekleidet, und auf der Wasseroberfläche entstehen große Zooglocen von derselben Färbung, welche allmählich zu Boden sinken. Die ockerfarbigen Massen erweisen sich unter dem Mikroskop

[1]) Winogradsky, S., l. c. S. 263.

als ganz aus Organismen bestehend; man findet dazwischen nur verschwindend wenig von einem unorganisierten Eisenocker-Niederschlage. Man sieht ein Geflecht von gelbbraunen Fäden mit darin eingelagerten verschieden geformten Zoogloeamassen von derselben Färbung. Unter den ersteren fehlt Leptothrix ochracea nie und kommt gewöhnlich in Gesellschaft von noch zwei fädigen Bakterien vor."

Ich habe schon in meinem Buche[1]) darauf aufmerksam gemacht, daß man tatsächlich nach dem geschilderten Verfahren Eisenbakterien leicht erhalten kann. Zu bedauern ist nur, daß sich in dem Heuwasser neben der Leptothrix noch zahlreiche andere Bakterien, ferner Infusorien und Flagellaten der verschiedensten Art breit machen, so daß man eben eine sehr gemischte und unreine Kultur vor sich hat.

Schon in bedeutend reinerer Form gewann Adler[2]) in meinem Laboratorium die Leptothrix dadurch, daß er dem Prager Leitungswasser 0,05% Eisenammonzitrat hinzufügte und die Lösung in einem Hyazinthenglas stehen ließ. Es entwickelten sich dann nach einigen Tagen oder nach längerer Zeit reichlich gelbliche Flocken von Leptothrix, Cladothrix und Anthophysa, einzelne Infusorien und Flagellaten.

Die Methode Adlers, von deren Zweckmäßigkeit ich mich oft überzeugt habe, ergab zwar keine Reinkulturen, allein sie bedeutete einen erheblichen Fortschritt, weil das zitronsaure Eisenammon bis zu einem gewissen Grade eine selektive Wirkung äußerte und andere nicht eisenspeichernde Organismen zwar nicht unterdrückte, aber doch in den Hintergrund drängte. Auch war in der Adlerschen Nährlösung eine bestimmte, eine definierbare Substanz gegeben, deren Menge leicht reguliert werden konnte, was bei Anwendung von Heu selbstredend nicht der Fall ist. Ich bemerke jedoch, daß mir die Adlerschen Versuche mit Moldauwasser in Prag sehr gut, in Wien mit Hochquellwasser aber nicht gelangen, vielleicht weil das Moldauwasser ein typisch weiches (Moor-) Wasser, das Wiener Hochquellwasser aber ein relativ hartes Wasser ist.

Meine bakteriologischen Erfahrungen brachten mich mehr und mehr zu der Überzeugung, daß man bei Bakterien, die besondere Ernährungsansprüche haben und sich im Vergleich zu anderen Bakterien bezüglich ihrer Medien kapriziös erweisen, nur dann Aussicht hat, sie rein zu kultivieren, wenn man zuvor ein möglichst einfaches Nährsubstrat für eine sogenannte elektive Rohkultur ausfindig macht. Es muß ein Nähr-

[1]) Molisch, H., l. c. S. 64.
[2]) Adler, O., l. c. S. 217.

Tabelle der verschiedenen Nährsubstrate.

Nr	Zusatz zum Moldauwasser	Beginn des Versuchs	Ende des Versuchs	Entwicklung von Eisenbakterien (Leptothrix und Cladothrix)
1	Rohrzucker 1 %	9. I. 1909	1. IV. 1909	Keine oder fast keine Entwicklung.
2	Glyzerin 1 %	„	„	„ „
3	Neutr. zitronsaures Natrium 0,05 %	„	„	„ „
4	Zitronsaures Ammoniak 0,05 %	„	„	„ „
5	Zitronsaures Magnesium 0,05 %	„	„	„ „
6	Zitronsaures Kalium 0,05 %	„	„	„ „
7	Buttersaurer Kalk 0,05 %	„	„	„ „
8	Essigsaures Natrium 0,05 %	„	„	„ „
9	Zitronsaures Eisen-Ammoniak 0,05 %	„	„	Sehr gute Entwicklg. von Leptothrix, daneben auch zahlreiche Organismen, Chlorophyceen, Infusorien, Anthophysa usw.
10	Zitronsaures Eisen-Magnesium 0,05 %	„	„	Gute Entwicklung. Ziemlich viel Eisenoxydniederschlag. Dicke Scheiden.
11	Zitronsaures Eisen-Ammoniak 0,05 % und etwas Gips	„	„	Keine Entwicklung.
12	Ausgekochtes Heu	„	„	Sehr gute Entwicklung von Leptothrix und Cladothrix.
13	Ausgekochtes Heu u. zitrons. Eisen-Ammoniak 0,05 %	„	„	Sehr gute Entwicklung von Leptothrix und Cladothrix.
14	Zitronsaures Eisen-Kalium 0,05 %	„	„	Gute Entwicklung. Viel Eisenoxydhydratniederschlag.
15	Weinsaures Eisen-Ammoniak 0,05 %	„	„	Mäßige Entwicklung. Viel Eisenoxydhydratniederschlag.
16	Oxalsaures Eisen-Ammoniak 0,05 %	„	„	Keine Entwicklung.
17	Milchsaures Eisen 0,05 %	„	„	„ „
18	Eisenglyzerophosphat 0,05 %	„	„	Sehr mäßige Entwicklung.
19	Manganglyzerophosphat 0,05 %	„	„	„ „ „
20	Milchsaures Eisen-Magnesium 0,05 %	„	„	Fast keine Entwicklung.

21	Manganpepton 0,025 %	„	„	Ausgezeichnete Entwicklung.
22	„ „ + K_2HPO_4 0,1 %	„	„	Keine Entwicklung.
23	„ „ + K_2HPO_4 „, NO_3K „, SO_4Mg „	„	„	Keine Entwicklung.
24	„ „ + K_2HPO_4 „, NO_3K „	„	„	„ „
25	„ „ + SO_4Mg „	„	„	„ „
26	„ „ + NO_3K „	„	„	„ „
27	„ „ + Gips	„	„	Keine Entwicklung, aber hübsche Entwicklung von Anthophysa
28	„ „ + 0,1 % $K_4(CN)_6Fe$	„	„	Keine Entwicklung.
29	„ „ + zitrons. Eisenpepton	„	„	Keine Entwicklung, Algen.
30	Pepton ½ %	„	2. IV.	Wenig Leptothrix, viel Diatomeen und grüne Algen, sehr viel Trachelomonas.
31	Pepton + $MnCO_3$ im Überschuß	7. III.	„	Sehr gute Entwicklung, fast eine reine Kultur von Leptothrix.
32	Pepton + $FeCO_3$ im Überschuß	„	„	Sehr schwache Entwicklung von Leptothrix. Reichlich Trachelomonas.
33	Ferrum albuminatum 0,05 %	„	„	Keine Entwicklung.
34	Ferrum peptonatum „	„	„	„ „
35	Manganlaktat 0,05 %	„	„	„ „
36	Manganum phospholacticum 0,05 %	„	„	Sehr gute Entwicklung. Sehr elektiv!
37	Manganum salicylicum 0,05 %	„	„	Keine Entwicklung.
38	Manganum fluoratum 0,05 % + ½ % Pepton	„	„	„ „
39	Zitronsaures Mangan 0,05 %	„	„	„ „
40	Oxalsaures Mangan 0,05 %	„	„	„ „
41	Manganum glycerinicum 0,05 %	„	„	„ „
42	Schwefeleisen + ½ % Pepton	„	„	Gute Entwicklung.
43	Manganazetat 0,05 %	„	„	„ „

boden sein, wo der zu kultivierende Organismus sich mit Sicherheit reichlich und wenn auch nicht rein, so doch in hohem Grade dominierend entwickelt. Auf diese Weise gelangte ich seinerzeit zur Reinkultur von Purpurbakterien[1]) und nunmehr auch zur tadellosen Reinkultur von der Chlamydothrix ochracea.

Vom Prager Leitungswasser wußte ich auf Grund mehrjähriger Beobachtungen, daß sich Chlamydothrix bei Gegenwart organischer Substanzen gut darin entwickelt; ich wählte daher zum Ausgangspunkt meiner Studien das genannte Leitungswasser, welches stets Keime von Leptothrix ochracea enthielt. Diesem Wasser setzte ich verschiedene organische Substanzen zu, von denen ich vermutete, daß sie vielleicht günstig auf die Entwicklung dieser Eisenbakterie einwirken dürften. Das nähere ergibt sich aus der vorhergehenden Tabelle.

Die Tabelle zeigt, daß sich in geradezu ausgezeichneter Weise Manganpepton bewährte, sehr gut auch zitronsaures Eisenammon, Pepton mit Mangankarbonat, Manganphospholaktikum, mäßig gut Manganazetat, Schwefeleisen mit Pepton und weinsaures Eisenammoniak.

Wenn man zum Prager Leitungswasser etwa 0.05 % Manganpepton hinzufügt und die Lösung in einem Becherglas, bedeckt mit einer Glasplatte, ruhig im Finstern oder im diffusen Lichte stehen läßt, so treten am Wasserspiegel bei Zimmertemperatur schon nach 3—4 Tagen oder später braune Pünktchen und Flöckchen auf, die sich vorzugsweise aus Leptothrix ochracea, Anthophysa, zum Teil auch aus Cladothrix und verschiedenen Eisenflagellaten zusammensetzen. Nach 1—2 Wochen entsteht eine tiefbraune Decke, die oft der Hauptmasse nach aus Leptothrix besteht.

Nachdem ich nun auf diese Weise eine ebenso einfache als ausgezeichnete Nährlösung für die Leptothrix ochracea ausfindig gemacht hatte, konnte ich versuchen, diesen Organismus auf einem festen Nährmedium von ähnlicher Zusammensetzung zu züchten, um schließlich zu Reinkulturen zu gelangen. Das Nährmedium bestand aus

1000 g Leitungswasser der Moldau,
0.5 „ Manganpepton,
10 „ Agar.

Dieses Nähragar wurde in Eprouvetten eingefüllt, mit einem winzigen Räschen von Leptothrix geimpft, dann in Petrischalen zum Erstarren ausgegossen und im Thermostaten bei 25° C unter einer Glas-

[1]) Molisch, H., Die Purpurbakterien nach neuen Untersuchungen. Jena 1907, S. 1—11.

glocke aufgestellt. Nach einigen Tagen traten neben verschiedenen Kolonien anderer Bakterien auch solche auf, die zunächst eine schwach bräunliche, nach einiger Zeit eine braune oder rostbraune Farbe annahmen und die sich bei mikroskopischer Untersuchung anscheinend aus reiner Leptothrix bestehend erwiesen. Um die Reinheit dieser Kolonien zu prüfen, wurde davon abgeimpft und neuerdings ausgesät. Nun erhielt ich stets zweierlei Kolonien: farblose und braune. Die farblosen bestanden aus einer kokkenartigen Bakterie und die braunen anscheinend wieder bloß aus Leptothrix. Allein wenn ich von den letzteren abimpfte, bekam ich wieder die erwähnten zweierlei Kolonien, so daß ich zur Überzeugung gelangte, daß die braunen doch wieder verunreinigt waren und den farblosen Kokkus enthielten. Eine genaue mikroskopische Untersuchung ergab auch tatsächlich, daß an den von Gallerte umhüllten und deshalb klebrigen Leptothrixfäden dieser kleine Kokkus hing und mit den Leptothrixfäden immer wieder mit übertragen wurde. Meine vielfachen, durch Monate hindurch fortgesetzten Bemühungen, die beiden Bakterien voneinander zu trennen, blieben anfangs erfolglos.

Da verschiedene Bakterien häufig ganz verschiedene Temperaturansprüche und Temperaturkardinalpunkte haben, so versuchte ich durch Kultur bei relativ niederer oder relativ hoher Temperatur das Auftauchen des Kokkus zu unterdrücken, allein vergebens. Die beiden so gesellig vorkommenden Bakterien wuchsen entweder gar nicht oder wenn, dann wieder gemeinsam.

Ich erinnerte mich ferner der Tatsache, daß die Bakterien eine sehr verschiedene Resistenz gegen intensives Licht besitzen und hoffte, daß ich vielleicht durch Exposition der Kulturen in direktes Sonnenlicht eine Trennung der beiden Bakterien erzielen würde, wobei ich hoffte, daß die Leptothrix die widerstandsfähigere sein werde. Allein auch so war kein Erfolg zu erzielen, denn beide Bakterien gediehen bei direkter Bestrahlung.

Nach langen vergeblichen Versuchen einer Isolierung, auf deren Schilderung ich, da sich kein positives Resultat ergab, nicht näher eingehe, machte ich eine Beobachtung, die endlich zum Ziele führte. Als ich nämlich meine verunreinigte Leptothrix-Kolonie in eine Nährlösung, bestehend aus 2 % Pepton in Moldauwasser impfte, entwickelten sich nach 1—3 Tagen zahlreiche Leptothrix-Schwärmer, also einzelne Zellen. Nun war die Hoffnung vorhanden, daß man aus diesen Schwärmern, an welchen die kokkenartige Bakterie nicht klebte, beim Aussäen reine Kolonien von Leptothrix gewinnen dürfte. Es wurden daher zahlreiche,

mit dem vorher angegebenen Manganpepton-Agar beschickte Eprouvetten mit der Schwärmerkultur geimpft und auf Platten ausgegossen. Schon nach vier Tagen erschienen bei einer Temperatur von 23—25° C zahlreiche Kolonien, die anfangs farblos oder schwach bräunlich waren, aber schon nach einer Woche braun oder rostrot aussahen und die aus reiner Leptothrix bestanden. So war denn endlich die Reinkultur der Leptothrix ochracea, der typischen Ockerbakterie, zu meiner großen Freude gelungen und damit auch die Grundlage für ein erfolgreiches Studium der Physiologie der Eisenbakterien gegeben.

Ich war gerade mit meinen Kulturversuchen nach verschiedenen Richtungen beschäftigt, als ich wegen meiner Berufung an die Wiener Universität von Prag nach Wien übersiedeln mußte. Auffallenderweise versagten anfangs meine Versuche in Wien, die Leptothrix wuchs schlecht oder gar nicht. Auch wurde das Mangan nicht oder nur wenig gespeichert. Ich war zunächst geneigt, das Wiener Hochquellwasser dafür verantwortlich zu machen. In Prag stand mir das moorige, weiche, an organischen Substanzen reiche Moldauwasser zur Verfügung und hier gedieh Leptothrix ausgezeichnet. In Wien hingegen experimentierte ich zunächst mit dem relativ harten, kalkreichen und an organischen Stoffen armen Hochquellwasser und es war immerhin möglich, daß dieses Wasser die Ursache der Mißerfolge war. Allein durch verschiedene Versuche konnte ich mir die Überzeugung verschaffen, daß die Leptothrix im Hochquellwasser zwar nicht so ausgezeichnet wie im Moldauwasser, aber doch recht gut gedeiht, wenn man dem Wasser ausgekochtes Heu hinzufügt. Nachdem ich diese Beobachtung gemacht, erwachte in mir der Verdacht, daß das Manganpepton, das ich in Wien verwendete, nicht von derselben Zusammensetzung war wie in Prag, und daß vielleicht in diesem Umstande die Ursache der Mißerfolge zu suchen wäre. Ich bezog daher von verschiedenen Firmen Manganpepton und konnte schon an der verschiedenen, bald helleren bald dunkleren Farbe und an dem verschieden intensiven Geruche der eingesandten Proben sehen, daß das käufliche Manganpepton nicht von gleicher Beschaffenheit ist.[1]) Bei verschiedenen Versuchen mit Manganpepton verschiedener Herkunft stellte es sich nun heraus, daß es tatsächlich von der Art des Manganpeptons abhängt, ob meine Versuche gelangen oder nicht, manche Prä-

[1]) Auf meine Anfrage, welche Zusammensetzung diesem im Handel befindlichen, als Tonicum und Nutritivum bei Anämie und Chlorose verwendeten Präparate zukommt, schrieb mir die Firma Merck in Darmstadt, daß es Mangan, Pepton, Zucker und etwas Alkalien enthält, und daß der Mangangehalt 4% beträgt.

parate leisteten ausgezeichnete Dienste, manche schlechte. Die Probe, mit der ich in Prag so üppige Kulturen erhielt, rührte von der Firma Merck her, eine spätere, die ich von Wien aus bei derselben Firma bezog, gab nicht befriedigende Resultate. Erst nach mehrfachen Mißerfolgen mit Manganpepton von anderen Firmen erhielt ich von der Firma E. de Haën (Chemische Fabrik List, Seelze bei Hannover) wieder ein Präparat, das vortreffliche Dienste leistete. Ich hebe diese Umstände hervor, weil meine Versuche wahrscheinlich werden nachgemacht werden und weil man auf die Qualität des Manganpeptons sein besonderes Augenmerk lenken soll.

Das beste Substrat, mit dem ich in Wien meine Reinkulturen durchführte, hatte die Zusammensetzung:

1000 g Torfwasser[1]),
0,25 „ Manganpepton,
100 „ Gelatine.

Die Lösung wurde vor dem Erstarren mit Normalkalilauge schwach alkalisch gemacht. Das ist sehr wichtig, weil die Leptothrix in dem sauren Medium nicht wächst.

Kolonien. Nach etwa 9 Tagen erreichen die Kolonien, bei Zimmertemperatur im diffusen Licht oder im Finstern gezogen, einen Durchmesser von $^1/_2$—2 mm. Sie sind zumeist kugelig, anfangs farblos oder wenig gelblich, später rostbraun und sinken nach längerer Zeit nach und nach schalenförmig in der Gelatine ein.

Bei mikroskopischer Betrachtung zeigt sich, daß die Kolonie zum großen Teil aus geraden Stäbchen und zum geringeren Teil aus relativ kurzen Fäden besteht. Legt man eine Kolonie ins Wasser und übt man mit dem Deckglas einen sanften Druck aus, so werden zahlreiche Stäbchen der Kolonie frei und beginnen alsogleich im Wasser lebhaft zu schwärmen. Schon Winogradsky[2]) hat in seinen Rohkulturen Stäbchenschwärmer gesehen, die Leptothrix verhält sich in dieser Beziehung ähnlich wie Cladothrix dichotoma, bei der ja Zopf[3]) gleichfalls stäbchenartige Schwärmer beobachtet hat.

Sowohl die Fäden als die Schwärmer (Fig. 7) derartiger Kolonien sind farblos, hingegen wird in der nächsten Nähe der Kolonie bis auf eine gewisse Entfernung hin eine Manganoxydverbindung in Form einer ungeheuren Zahl von braunen Kügelchen abgeschieden (Fig. 10, Tafel II).

[1]) Das Torfwasser wurde gewonnen durch Auskochen eines faustgroßen Stückes eines Torfziegels in 1 Liter destilliertem Wasser.

[2]) Winogradsky, S., l. c. S. 265.

[3]) Zopf, W., Zur Morphologie der Spaltpflanzen l. c., S. 15.

Ihre Form ist nicht immer dieselbe (Fig. 11a, Tafel II). Sie sind bald kugelig, bald abgerundet polygonal, bald klumpig. Ihre Farbe ist entweder tiefbraun oder rostbraun, im letzteren Falle erscheinen die Körper mehr flach und schließen zu mehr minder geschlossenen Häuten zusammen (Fig. 11b, Tafel II). Ihre Größe schwankt. Von den kleinsten an der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung stehenden Kügelchen bis zu solchen, die 8 μ und darüber messen, finden sich alle Übergänge. Sie sind nicht doppelbrechend. Behandelt man mit konzentrierter Salzsäure, so verschwindet die braune Manganverbindung und eine der früheren Form entsprechende organische farblose Grundlage bleibt zurück. Konzentrierte Schwefelsäure wirkt ebenso. [1])

Ich gab hier die Beschreibung nach meinen Kulturen von Wien; in Prag erhielt ich gewöhnlich Kolonien, die aus längeren Fäden bestanden und die das Mangan innerhalb und nicht außerhalb der Scheide abschieden. Der Unterschied zwischen den Prager und den Wiener Kulturen war — die Stammkultur war in beiden Fällen dieselbe — offenbar durch die Verschiedenheit des Substrates bedingt, doch vermag ich darüber nichts näheres auszusagen.

Schwärmer. Gestalt: Sie stellen gerade Stäbchen mit abgerundeten Enden dar (Textfig. 7).

Größe: Die Schwärmer sind 0,6—0,8 μ breit und sehr verschieden, gewöhnlich 2—14 μ lang. Manchmal sah ich aus mehreren Zellen bestehende, lebhaft um ihre Längsachse rotierende Fäden, die eine Länge von 35 μ hatten. Teilungswände schwer erkennbar.

Bewegung: Sie bewegen sich, rotierend um ihre Längsachse, geradlinig weiter, bald vorwärts, bald rückwärts.

Färbbarkeit: Sie färben sich leicht mit Anilinfarbstoffen.

Sauerstoffbedürfnis: Aërob. Die oben liegenden, mit dem atmosphärischen Sauerstoff in Berührung befindlichen Kolonien entwickeln sich am raschesten und besten. Je tiefer in der Gelatine situiert, desto kleiner werden sie und nur da, wo der Sauerstoff noch relativ reichlich zufließt, findet die Oxydation des Mangans statt. Die Kolonien erscheinen tiefbraun, tiefer unten, wo die Oxydation in der Gela-

[1]) Körnchen ähnlicher Art, nur viel kleiner, treten in der Umgebung der Kolonie als gelbbrauner Hof auch auf, wenn man der Nährgelatine phosphorsaures Eisenoxyd (100 Hochquellwasser + 1 % Pepton + 0,025 % phosphorsaures Eisenoxyd + 7 % Gelatine) zusetzt. Die Spuren Eisen, die sich lösen, mögen die Veranlassung zu dem braunen Hof bezw. zu den Kügelchen geben, ich bemerke jedoch, daß die Körnchen direkt keine Eisenreaktion geben. Vielleicht liegt hier eine organische Eisenverbindung mit maskiertem Eisen vor.

tine unterbleibt, erscheinen sie weiß oder fast weiß (Fig. 12, Tafel II). Diese Verhältnisse werden besonders bei Schüttelkulturen in Gelatineeprouvetten klar, weil die Gelatine hier in hoher Schicht vorliegt. Bei Kolonien, die gerade in jenem Niveau der Gelatine liegen, wo eben noch genügend Sauerstoff zur Oxydation des Mangans zufließt, kann man oft die Beobachtung machen, daß auf der oberen Hälfte der Kolonie Manganoxyd niedergeschlagen wird, an der unteren nicht. Die Kolonie ist dann infolgedessen oben rostbraun, unten farblos.

Gelatinestichkultur. Nach 6 Tagen entsteht ein nach oben sich verbreiternder Faden. Oben rostbraun, nach unten immer heller werdend, schließlich in der Tiefe farblos. Von der Oberfläche aus beginnt langsam die Verflüssigung und dadurch entsteht eine trichterförmige Einsenkung. Nach etwa 14 Tagen stellt der Stich einen trichterförmigen Hohlraum in der Gelatine dar, dessen größter Durchmesser $^1/_2$—1 cm betragen kann und der am Grunde von brauner Bakterienmasse erfüllt ist. Die Verflüssigung tritt im allgemeinen sehr langsam ein und verläuft mit sehr wechselnder Intensität.

Gelatinestrichkultur. Nach 6 Tagen: Kultur bleibt auf den sich langsam verbreiternden Strich beschränkt, Rand etwas gekräuselt. Strich hellbraun, Kultur nach 2—3 Wochen etwas einsinkend, weil die Gelatine verflüssigend (Fig. 13a u. b Tafel II). — Auf Nähragar, das unserer Nährgelatine entsprechend zusammengesetzt war, gedeiht Leptothrix nicht gut, auch ist die Fällung des Mangans hier bedeutend geringer.

Temperaturbedürfnis. Wächst bei 5° und 40° C nicht mehr, gut bei Zimmertemperatur, noch besser bei 23—25° C.

Licht. Wächst im Finstern, im diffusen Licht und widersteht sogar dem direkten Sonnenlicht.

Kultur in flüssigem Substrat. Überträgt man eine Kolonie in einen Erlenmeyerkolben, der Wiener Hochquellenwasser mit 0,025% Manganpepton enthält, so entstehen nach 3—4 Tagen bei 25° C zahlreiche Kolonien und Flöckchen von rostbrauner Farbe am Boden, an der Wasserhaut und an den Seitenwänden. Die aus der Impfkolonie austretenden Schwärmer kommen hier zur Ruhe, wachsen zu langen, mehrere Millimeter große Flöckchen bildenden Fäden aus, die in ihrer Scheide Manganoxyd ablagern und hierdurch die rostrote Farbe verursachen (Fig. 10). Die Flüssigkeit bleibt dabei klar, eine Fällung von Manganoxyd in diese hinein habe ich nicht bemerkt.

In solchen Lösungen gedeiht Leptothrix in großer Üppigkeit. Ich habe besonders bei Anwendung weicher Wässer (Prager Leitungswasser) so üppige Kulturen erhalten, daß sich am Flüssigkeitsspiegel oft eine

3 mm dicke, festgeschlossene Decke der genannten Eisenbakterien bildete, wobei die Fäden das in der freien Natur vorkommende typische Aussehen und eine ausgiebige Einlagerung des braunen Manganoxydes aufwiesen. Das Manganoxyd erfüllt die älteren Teile der Scheide entweder als eine homogene Masse und verleiht ihr eine gleichmäßige braune gegen die Spitze des Fadens immer hellere Farbe oder es erscheint in Form zahlreicher Pünktchen, so daß die Scheide von helleren und dunkleren durchsetzt ist und wie punktiert aussieht. Unter gewissen Umständen kann die Scheide bei Mangankulturen sogar auf festen Substraten eine erstaunliche Dicke erreichen und Gleiches kann man bei den in der

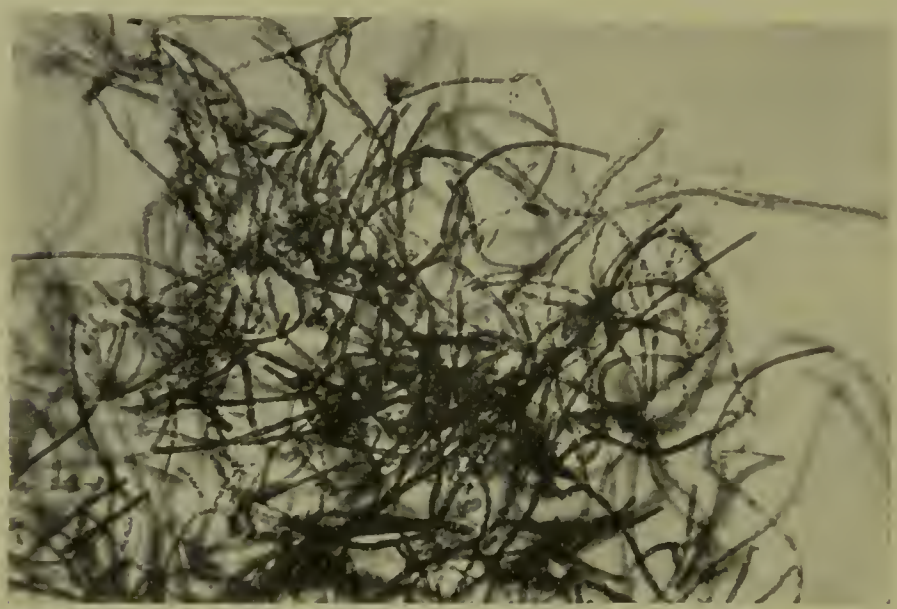


Fig. 10.
Chlamydothrix ochracea Mig. Reinkultur in Manganpeptonlösung. Vergr. etwa 300.

Natur vorkommenden Eisenoxyd führenden Leptothrixfäden bemerken. (Fig. 6a.) Es herrscht bezüglich der Scheidendicke eine von äußeren Bedingungen abhängige große Variationsfähigkeit.

Die Gallerthülle gewährt im Laufe ihrer Entwicklung ein verschiedenes Bild. Bei ganz jungen Fäden ist sie zunächst sehr dünn und farblos. Nach und nach wird sie unter gleichzeitiger Einlagerung von Eisenoxydhydrat[1]) immer dicker und brauner, sie kann schließlich die mehrfache Dicke der Zellen erreichen (Fig. 6). Später erleidet die

[1]) Ob die in den Scheiden der Eisenbakterien abgelagerte Eisenoxydverbindung wirklich Eisenoxydhydrat ist, läßt sich mikrochemisch nicht exakt beweisen. Wenn ich daher in dieser Schrift kurzweg von Eisenoxydhydrat spreche, so ist dies stets mit einer gewissen Reserve aufzunehmen.

Scheide im Alter unter normalen Verhältnissen in der Natur insofern eine Veränderung, als die Scheide ihren gallertigen Charakter einbüßt und zu einem dünnen, glatten braunen Röhrchen wird, das sehr leicht zerbricht, offenbar weil es sehr spröde ist. Die ockerigen Massen, die man in der Natur so häufig in Wässern sumpfiger Wiesen antrifft, bestehen zum großen Teil aus solchen dünnen spröden Röhrchen. (Fig. 5). Bei Behandlung der gallertigen dicken Scheide mit verdünnter oder konzentrierter Salzsäure löst sich das Eisenoxyd, die Gallerthülle wird undeutlich (Fig. 6a) und die Zellen treten, von einer zarten Innenschicht der Hülle umgeben, scharf hervor. Hingegen lösen sich die alten glatten Röhrchen in konzentrierter Salzsäure vollends.

Vermehrung. Die Leptothrix ochracea vermehrt sich in verschiedener Weise: 1. Durch Zerbrechen der Fäden, wobei die Teilstücke wieder zu längeren von Scheiden umkleideten Fäden auswachsen können. 2. Durch Abgliederung der Endzellen und 3. durch die schon früher (S. 40) beschriebenen Schwärmer, die nach einiger Zeit zur Ruhe kommen, sich irgendwo festsetzen und von hier zu einem neuen in der Regel unverzweigten Faden auswachsen mit deutlicher Spitze und Basis. Soweit meine Erfahrungen reichen, bleiben die Fäden von Leptothrix gewöhnlich unverzweigt. Es sieht allerdings sehr häufig so aus, als ob sie verzweigt wären, allein diese scheinbare Verästelung kommt dadurch zu Stande, daß die jungen Schwärmer sich auf der Oberfläche älterer Fäden niederlassen und hier weiterwachsend eine Verzweigung vortäuschen (Fig. 7 f). Winogradsky gibt an (S. 265), daß Leptothrix sich pseudodichotom verzweigt wie Cladothrix dichotoma, tatsächlich kommt eine solche Verzweigung auch vor, ich selbst habe sie bisher in meinen Kulturen nicht häufig beobachtet. Bei Clonothrix, die der Leptothrix ähnlich sieht, finden sich solche Verzweigungen häufig vor und es ist daher nicht unmöglich, daß in den unreinen Leptothrixkulturen, mit denen bisher stets gearbeitet werden mußte, Leptothrix mit Clonothrix verwechselt wurde.

Die Conidien, von denen Ellis[1]) spricht, habe ich nicht auffinden können. Der genannte Forscher gibt an — wenn ich ihn recht verstehe — daß aus kürzeren und längeren Fäden runde Conidien durch die Scheide quer hindurchtreten und dann auf der Oberfläche des Fadens gleichsam hervorsprossen. Mir will scheinen, daß aufgelagerte Bakterienzellen eine Conidienbildung vorgetäuscht haben, was ja bei einer Rohkultur nicht unmöglich wäre.

[1]) Ellis, D., A contribution to our knowledge of the thread-bacteria (II) II. Abt. Bd. 26, 1910, p. 226.

IV.

Die Physiologie der Eisenbakterien und Winogradskys Hypothese.

Das häufige Vorkommen der Eisenbakterien in eisenreichen Wässern und ihr auffallendes Vermögen Eisenoxyd zu speichern, mußte natürlich schon den älteren Beobachtern auffallen, und es erscheint begreiflich, daß man sich auch über die Beziehung des Eisens zu den Eisenbakterien bestimmte Meinungen zu bilden suchte.

Cohn[1]) hat mit Rücksicht auf seine Beobachtungen über Crenothrix die Ansicht ausgesprochen, daß das Eisenoxydhydrat sich durch die Vegetationstätigkeit der Zellen in den Scheiden dieser Eisenbakterien in ähnlicher Weise ablagert wie die Kieselerde in den Schalen der Diatomeen und in der Zellmembran der Melobesiaceen. Dieser Ansicht widersprach Zopf[2]), da er die Beobachtung zu machen glaubte, daß bereits entleerte, noch ganz farblose Scheiden von Crenothrix oder Cladothrix in eisenhaltigem Wasser sich nach längerer Zeit ebenso intensiv braun färben wie noch nicht entleerte. — Deshalb glaubte er annehmen zu dürfen, „daß die Färbung der Gallertscheide auf einem rein mechanischen Vorgange beruht, nämlich auf der Einlagerung der in Wasser gelösten Eisenverbindungen zwischen die Gallertteile, einem Vorgange, wie er sich auch künstlich an anderen Gallertmassen, z. B. Speisegelée, vollzieht, wenn man diese mit gewissen Farbstofflösungen zusammenbringt."

Weiter haben sich weder Cohn noch Zopf mit unserer Frage beschäftigt, beide interessierten sich fast ausschließlich für die Morphologie und Entwicklung der Eisenbakterien.

Da erschien im Jahre 1888 Winogradskys kleine Schrift über die Eisenbakterien[3]), die die Physiologie dieser merkwürdigen Organismen mit einem Male in den Vordergrund stellte. Er erblickt, wie bereits

[1]) Cohn, F., l. c. S. 119.
[2]) Zopf, W., Zur Morphologie der Spaltpflanzen usw. l. c. S. 5.
[3]) Winogradsky, S., l. c.

angedeutet wurde, namentlich im Gegensatz zu Zopf in der Eisenein-lagerung nicht einen nebensächlichen Prozeß, sondern einen hochwichtigen Lebensakt, der für diese Bakterien und ihre Entwicklung eine conditio sine qua non sein soll. Winogradsky stellt sich vor, daß den Eisen-bakterien ein spezifisches Vermögen für die Oxydation von Eisenoxydul- zu Eisenoxydverbindungen zukommt und daß der Verlauf der Lebens-prozesse von der bei dieser Oxydation frei werdenden Wärme (aktuellen Energie) im Gange erhalten wird. Eine ausführliche Begründung dieser Hypothese hat der bekannte russische Bakteriologe in Aussicht gestellt, aber sie ist bis heute — es sind inzwischen 22 Jahre verflossen — nicht erschienen. Gegen diese Auffassung Winogradskys habe ich schon im Jahre 1892 Stellung genommen und sie auf Grund von Tatsachen und Erwägungen zu widerlegen versucht.[1]) Schon damals habe ich er-wähnt, daß Eisenbakterien auch ohne Eisenzusatz gedeihen. Wenn man z. B. den auf S. 32 angegebenen Versuch Winogradskys ohne Zusatz von Eisenoxydhydrat anstellt, so können die Eisenbakterien auch auf-treten, sogar auch dann, wenn man nicht Brunnenwasser, sondern eine eisenfreie Nährlösung[2]) verwendet. Aber bei diesen Kulturen war der Einwand gestattet, daß das Heu nicht unbedeutende Mengen organisch gebundenen maskierten Eisens enthält und daß dieses in den Versuchen die Rolle des sonst zugesetzten Eisenoxydhydrats übernimmt. Gegen diesen Einwand spricht jedoch der Umstand, daß in den Scheiden der ohne Eisenzusatz kultivierten Eisenbakterien kein Eisenoxyd nachzu-weisen war. Ein vollständig einwandfreier Beweis war doch nur von Reinkulturen in einer Nährlösung von ganz bestimmter, chemisch genau definierbarer Zusammensetzung zu erwarten und daher hielt ich jetzt die Zeit dafür gekommen, diese physiologisch äußerst wichtige Frage neuerdings einer Prüfung zu unterziehen.

Als ich in Besitz tadelloser Reinkulturen von Leptothrix ochracea gekommen war, impfte ich in eine Nährlösung, bestehend aus reinem destilliertem Wasser und 1—2 % Pepton, Leptothrix und erhielt üppige Kulturen von Leptothrix ochracea-Fäden, die aber vollständig farblos waren und nicht eine Spur einer nachweisbaren Eisenverbindung in ihren schmalen Scheiden enthielten.

Das Aufkommen solcher Kulturen beweist, daß in dem Pepton eine gewisse Menge von Aschensubstanzen vorhanden gewesen sein muß.

---

[1]) Molisch, H., Die Pflanze usw. l. c. S. 60.
[2]) Molisch, H., Die Pflanze usw. l. c. S. 66.

Ohne diese könnten sich ja auch die Bakterien nicht entwickeln und nach meinen Erfahrungen [1]) über die außerordentlichen Schwierigkeiten, die sich der Herstellung vollständig eisenfreier Nährlösungen entgegenstellten, ist auch anzunehmen, daß in meiner eisenfreien Pepton-Nährlösung Spuren von Eisen vorhanden waren, die in den Bakterienleib eintreten und hier als maskiertes Eisen unbekannten Funktionen dienen. Solche Spuren sind für grüne und nicht grüne Pflanzen nötig und dürften auch für Leptothrix von Wichtigkeit sein. Aber um diese Spuren von Eisen handelt es sich bei unserer Frage nicht, hier handelt es sich um relativ große Eisenmengen, die durch die Eisenbakterien von einer niederen in eine höhere Oxydationsstufe verwandelt werden sollen und in ihrem Körper in großer Menge deponiert werden. Von einer solchen Ablagerung des Eisenoxyds, die sich unter normalen Verhältnissen sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch durch die braune Farbe der Scheiden leicht zu erkennen gibt, ist nicht das Mindeste zu sehen, denn die Leptothrix wächst in den eisenfreien Peptonkulturen vollständig farblos. Ich habe bis jetzt von der ersten in dieser Weise erhaltenen farblosen Kultur bereits 47 Kulturen sukzessive auseinander ohne Zusatz von Eisen gezüchtet, immer mit demselben Resultate: die Leptothrix entwickelte sich immer wieder und ihre Fäden wuchsen farblos.

In der Literatur begegnet man häufig der Behauptung, daß die Eisenbakterien prototrophe Organismen seien, d. h. daß sie zu ihrem Gedeihen organischer Stoffe nicht bedürfen. Diese Behauptung entbehrt vorläufig jeder Begründung. Ich habe bei meinen langjährigen Kulturen niemals ein Gedeihen der Chlamydothrix ochracea ohne organische Substanzen bemerkt, immer waren diese nötig. Gute Dienste leisteten $^1/_2$ bis 2% Pepton, noch besser Manganpepton. Wegen ihrer Vorliebe für Pepton könnte man die Chlamydothrix ochracea geradezu als „Peptonbakterie“ bezeichnen.

Es ist von mir schon vor 18 Jahren darauf hingewiesen worden, daß die Leptothrix nicht nur Eisen, sondern auch Mangan in hohem Grade zu speichern vermag. Schon bei der Kultur von Leptothrix ochracea im Heuinfus mit Mangonoxydhydrat kann man sich leicht davon überzeugen. Ja die Scheiden werden bei Einlagerung des Mangans nicht selten viel dicker als in den entsprechenden Eisenlösungen. Und nun ist mir ja die Reinkultur der Leptothrix gerade in Manganpepton in so ausgezeichneter Weise gelungen. Die Leptothrix wächst in Lösungen

[1]) Molisch, H., l. c. S. 105.

des genannten Stoffes außerordentlich üppig, die Scheiden sind infolge der Einlagerung von Manganoxyd rost- bis schwarzbraun. Das Mangan spielt hier offenbar dieselbe Rolle wie das Eisen, dieses kann durch Mangan vertreten werden, man kann die Eisenbakterien gewissermaßen in Manganbakterien umwandeln.

Es sei hier daran erinnert, daß auch bei anderen Eisenbakterien unter natürlichen Verhältnissen neben Eisen Mangan gespeichert werden kann, denn Jackson[1]) fand ebenso wie Beythien, Hempel und Kraft[2]) bei Crenothrixscheiden einen so außerordentlich hohen Mangangehalt, daß Jackson die manganspeichernde Crenothrix als eine eigene Spezies auffaßte und sie Crenothrix manganifera nannte. Er fand in den Scheiden 33,9 % Manganoxyd (Mn_2O_3) gegen 14,4 % Eisenoxyd (Fe_2O_3). — Nach den Untersuchungen des chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Dresden über den dunkelbraunen Crenothrixschlamm aus dem Brunnen und dem Hochbehälter des Tolkewitzer Wasserwerkes erreichten die Crenothrixscheiden einen Mangangehalt (Mn_3O_4) von 30,49 bis 66,59 %, während der Eisengehalt (Fe_2O_3) von 5,85—8,94 schwankte. In den Brunnen ist das Verhältnis von Eisen zu Mangan 1 : 4 bis 1 : 5, in dem Hochbehälter steigt der Mangangehalt um mehr als das Doppelte, denn das Verhalten des Eisens zu Mangan ist hier 1 : 11.[3]) Schorler hat mit Recht die Aufstellung der Crenothrix manganifera als neue Art als unberechtigt bezeichnet, denn Jacksons Art unterscheidet sich morphologisch nur durch die größere Dicke der Fäden beziehungsweise der Scheiden, und jeder kann sich leicht überzeugen, daß gerade die Dicke gallertartiger Eisenbakterienscheiden nach der Zusammensetzung des Mediums außerordentlich schwankt und daß man durch Zusatz von Mangan die Scheiden sehr verdicken kann (vgl. auch S. 42).

Auch die Vertretbarkeit des Eisens durch das Mangan spricht nicht zu Gunsten von Winogradskys Hypothese, da wir bisher noch keinen Fall im Pflanzenreiche kennen, wo Eisen für die vollständige Entwicklung eines Organismus von größter Wichtigkeit ist und gleichzeitig durch Mangan ersetzt werden könnte. Aber auch wenn die Leptothrix ochracea mit Mangan nicht gedeihen und Mangan nicht an-

[1]) Jackson, D. D., A new species of Crenothrix (Crenothrix manganifera). Transactions of the amer. microscop. society. Vol. XXIII, 1902, ferner Hygienische Rundschau 1904, S. 19.

[2]) Beythien, Hempel u. Kraft, Beiträge z. Kenntnis des Vorkommens von Crenothrix polyspora in Brunnenwässern. Zeitschr. f. Unters. d. Nahrungs- u. Genußmittel 1904, H. 4, S. 215. Vgl. auch Neufeld, C. A., Über das Auftreten von Manganausscheidungen im Brunnenwasser. Ebenda S. 478.

[3]) Schorler, B., l. c. S. 684.

häufen würde, die von mir mittels der Reinkultur festgestellte Tatsache, daß dieser Organismus auch dann, wenn er keine Gelegenheit hat, Eisen in seiner Scheide zu deponieren, üppig gedeiht und farblos wächst, widerspricht Winogradskys Hypothese und läßt sich mit ihr nicht vereinigen.

Winogradsky glaubte gefunden zu haben, daß Leptothrix ohne Zufuhr von Eisenoxydul nicht wächst. Seine einschlägigen Beobachtungen sind mit unreinen Kulturen unter Deckglas gemacht und werden durch meine Versuche mit Reinkulturen ohne Eisenzusatz widerlegt. Durch diese Experimente wird der Winogradskyschen Hypothese der Boden entzogen, denn wenn Leptothrix ohne Zusatz von Eisen gut gedeiht, so kann jene von dem genannten Forscher gemachte Behauptung, daß die Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd ein hochwichtiges Lebensbedürfnis sei, das die für die Lebensprozesse notwendige Energie liefert, nicht richtig sein.

Damit soll aber nicht im mindesten bestritten werden, daß die Eisenbakterien in der Tat eisenhold sind und daß sie unter normalen Verhältnissen Eisen in bedeutender Menge in ihren Scheiden ablagern und daraus auch einen Nutzen (S. 57—58) ziehen.

Worauf beruht es nun, daß sich in den Scheiden der Eisenbakterien soviel Eisenoxydhydrat ablagert?

Winogradsky stellt sich diesen Vorgang folgendermaßen vor: die von den Scheiden umhüllten lebenden Zellen nehmen aus der Umgebung das in Wasser gelöste kohlensaure Eisenoxydul gierig auf, oxydieren es, bereiten daraus eine vorläufig lösliche Eisenoxydverbindung, die ausgeschieden, von der Scheide zurückgehalten und allmählich unlöslich wird. Er hält es für höchstwahrscheinlich, „daß nach der Oxydation zunächst ein neutrales Eisenoxydsalz“ irgend einer organischen Säure innerhalb der Zellen sich bildet, welches nach der Ausscheidung allmählich basischer wird und endlich in fast reines Eisenhydroxyd übergeht.“

In der Tat kann man sich leicht überzeugen, daß die Leptothrixfäden sehr gierig Eisenoxydulverbindungen aufnehmen. Wenn man eisenfrei gezogene, also farblose und eisenfreie Räschen von Leptothrix in einer Lösung von frisch bereitetem kohlensaurem Eisenoxydul (erzeugt durch Einbringen von reduziertem Eisen in destilliertes Wasser oder Leitungswasser und Sättigung mit Kohlensäure) auf dem Objektträger einlegt, mit einem Deckglas bedeckt und in feuchtem Raum einen Tag — für eine merkbare Reaktion genügen schon einige Minuten — beläßt, so färbt sich der Rasen mit Ferrocyankalium (2 %) und Salzsäure (5 %) nunmehr intensiv blau. Aber auch mit Ferricyankalium, ein Beweis,

daß das Eisen in dem Faden sowohl in der Oxyd- als in der Oxydulform vorhanden ist. Es färben sich die Scheiden und die Zellen. Nach 1—2 Tagen entstehen aus dem Räschen neue Fäden, die senkrecht aus dem Rasen hervorwachsen, häufig entstehen Schwärmer, die nach einiger Zeit zur Ruhe kommen, sich an den Glaswänden festsetzen und zu Fäden auswachsen. Entstehen diese in der Nähe des Deckglasrandes, so verdicken sie besonders in ihren älteren Teilen ihre Scheiden und werden durch eingelagertes Eisenoxyd braun (Fig. 14 a, b, c, Tafel III). Entwickeln sich aber die Fäden in der Mitte unter dem Deckglas, wo der Sauerstoff viel schwerer Zutritt hat, so bleiben sie zumeist farblos, aber diese farblosen Fäden zeigen — und das ist von großer Wichtigkeit — häufig dieselben eigentümlichen Verdickungen, wie wir sie vorhin bei der Einlagerung von braunem Eisenoxyd haben entstehen sehen, nur sind sie hier weiß (Fig. 14 d, Tafel III). Es findet also in der Mitte unter dem Deckglas derselbe Vorgang statt wie bei den Fäden am Deckglasrande, nur entsprechen die hier eingelagerten Massen nicht dem Eisenoxydhydrat, sondern laut der Ferricyankaliumprobe dem Eisenoxdulhydrat und dieses ist weiß. Diese Beobachtungen widersprechen der Winogradskyschen Annahme. Nach ihm wird das in die lebende Zelle eingedrungene Eisenoxydul im Plasma oxydiert und in der Oxydform in die Scheide abgeschieden. Aus meinen Beobachtungen aber geht hervor, daß bei Sauerstoffmangel sich in der Scheide Eisenoxydul genau in derselben Art ablagert wie bei Sauerstoffzutritt das Eisenoxyd. Daher bin ich der Meinung, daß das Eisenoxydul in die Fäden und zwar in die Scheiden, zum Teil auch in die Zellen vordringt, daß es in der Scheide zurückgehalten, gespeichert, durch den atmosphärischen Sauerstoff oxydiert und sukzessive in unlösliche Form übergeführt wird. Die lebende Zelle ist wahrscheinlich dabei insofern beteiligt, als sie die Scheide erzeugt und in jenem chemisch-physikalischen Zustand erhält, der die Anhäufung und Fixierung des Eisens in der Gallerthülle bedingt. Ich möchte erwähnen, daß auch durch siedendes Wasser abgetötete Leptothrixfäden, wie man sich mittels der Blutlaugensalzprobe überzeugen kann, Eisenverbindungen gierig anziehen und speichern, doch schreitet die Speicherung nicht bis zu jener auffallenden Verdickung der Scheiden vor, wie man sie an den lebenden Fäden bemerkt. Hier fehlt dann der Einfluß der lebenden Zelle. Bei der Aufnahme organischer Eisenverbindungen mag das lebende Plasma auch für die Abspaltung des Eisens sorgen und auf diese Weise in den Prozeß der Eisenablagerung eingreifen.

Die gierige Aufnahme und Speicherung des Eisens von Seite der Gallertscheide der Leptothrix ochracea ist für diesen Organismus sehr charakteristisch: Analoges gilt ja nach den Untersuchungen von Klebs[1]) auch für die Gallertscheiden der Zygnemaceen und anderer Algen, denn auch diese haben eine besondere Anziehungskraft für Aluminium, Chrom- und Eisenoxydverbindungen und ihre Gallertscheiden quellen dabei mächtig auf.

Fehlt das Eisen in der Lösung, so wächst und vermehrt sich die Leptothrix zwar sehr gut, allein die Fäden bleiben relativ kurz und die Scheiden bleiben dünn. Bei Darbietung von gelöstem Eisen verdicken sich die Scheiden und Eisen wird darin als Eisenoxyd deponiert. Daß der atmosphärische Sauerstoff die Oxydation eventueller Eisenoxydulverbindungen besorgt, darf nicht Wunder nehmen, denn jeder Chemiker weiß, wie schwer Eisenoxydulhydrat als solches dauernd zu erhalten ist und wie umständlich es ist, Eisenoxydulhydrat vor der Oxydation zu bewahren. Es sind darüber unter Botanikern oft nicht die richtigen Vorstellungen verbreitet, ich möchte dies daher hier besonders betonen und noch hervorheben, daß das Eisenvitriol wegen der Leichtigkeit, mit der es in Eisenoxydsalz übergeht, sogar vielfach als energisches Reduktionsmittel benützt wird und daß das Eisenoxydulhydrat freien und gebundenen Sauerstoff gierig absorbiert und sich dabei oxydiert.

Mutatis mutandis gilt das von der Einlagerung und Oxydation der Eisenverbindungen Gesagte auch von den Manganverbindungen. Das in der Scheide festgehaltene und sich anhäufende Manganohydroxyd wird unter dem Einflusse des atmosphärischen Sauerstoffes wahrscheinlich in manganige Säure und endlich in Manganite übergeführt. — Die Frage, ob das Eisenoxydul und Manganoxydul durch das Plasma der Zelle oder durch den atmosphärischen Sauerstoff oxydiert wird, hat nicht mehr die Bedeutung wie früher, da auf Grund meiner Experimente mit Reinkulturen erwiesen ist, daß diese Oxydation nicht, wie Winogradsky meinte, eine unerläßliche Bedingung für die Entwicklung der Leptothrix ist, sondern daß diese typische Eisenbakterie auch ohne diese Oxydation und ohne die Einlagerung von Eisen in ihre Scheiden gut gedeiht und sich vermehrt.

Noch auf einen Punkt muß ich aufmerksam machen, der auf den ersten Blick zu Gunsten der Theorie Winogradskys einigermaßen zu sprechen scheint.

[1]) Klebs, G., Über die Organisation der Gallerte bei einigen Algen und Flagellaten. Untersuchungen aus dem botan. Institut zu Tübingen, II. Bd., S. 411.

Es ist zu wiederholten Malen darauf hingewiesen worden, daß die Eisenbakterien aus einem Wasser, welches des Eisens zum großen Teil beraubt oder wie man sich ausdrückt, enteisent worden ist, von selbst verschwinden. Bekanntlich sind die Grundwässer Norddeutschlands an zahlreichen Punkten mehr oder minder eisenreich, sie enthalten neben anderen Stoffen kohlensaures Eisenoxydul, das von Kohlensäure in Lösung erhalten wird und das in den Pumpen und in den Wasserleitungsröhren oxydiert und als Eisenoxydhydrat gefällt wird. Hierdurch wird das Wasser trüb, schmutzig und büßt seine Verwendbarkeit im Haushalt und als Trinkwasser ein. Man hat daher verschiedene Methoden ausfindig gemacht, um dem Wasser das Eisen soweit als möglich zu entziehen. Man erzielt die Enteisenung des Wassers, indem man es z. B. über ein Gradierwerk fließen läßt. Das dem Boden entnommene Grundwasser rieselt über eine 2—3 m hohe Lage von Coaksstücken. Dadurch wird eine nahezu völlige Sättigung des Wassers mit Sauerstoff erzielt, Kohlensäure und etwas Schwefelwasserstoff entweichen, das Wasser wird trübe und das Eisen schlägt sich in Form von Eisenoxydhydrat nieder. Durch weiteres Filtrieren über Sand wird das Eisen zurückgehalten und das Wasser geklärt. Durch die Enteisenung wird der Eisengehalt des Wassers tatsächlich um ein Bedeutendes herabgedrückt. Während der Eisengehalt vor der Enteisenung oft 2—8 mg im Liter beträgt, sinkt er in dem enteisenten Wasser auf 0.2—0.5 mg pro Liter.

Wenn nun mit dem großen Eisengehalt tatsächlich auch die Eisenbakterien verschwinden sollten, so darf nicht bloß die Verminderung des Eisens dafür verantwortlich gemacht werden, denn bei dem Prozesse des Enteisenens gehen noch andere Dinge vor sich: es entweichen Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und außerdem kann sich auch der Gehalt an organischer Substanz so bedeutend vermindern, daß eine wesentliche Bedingung des Gedeihens für Eisenbakterien beseitigt wird. Ich möchte da auf einige interessante Tatsachen hinweisen, die ich einer Abhandlung von Fischer[1]) entnehme. Nach Piefke sind stark mit organischer Substanz verunreinigte Wässer eisenreicher als reine. Und nach Proskauer sind es namentlich die Humussubstanzen, die die Fähigkeit besitzen, mit dem Eisenoxydul im kohlensäurehaltigen Wasser lösliche Verbindungen einzugehen und hierdurch den Eisengehalt des Wassers zu steigern. Die Grundwässer fließen häufig durch Moore, Torflager, nehmen hier humöse und vielleicht auch andere organische Stoffe

[1]) Fischer, B., Über das Grundwasser von Kiel mit besonderer Berücksichtigung seines Eisengehaltes und über Versuche zur Entfernung des Eisens aus demselben. Zeitschr. für Hygiene, XIII. Bd. 1893, p. 268.

auf und erhalten hierdurch eine bedeutende lösende Kraft für Eisen. In manchen Eisenwässern, z. B. in dem von Danzig, finden sich 20—30 % des Eisens gebunden an Huminkörper.[1]) Wenn nun die Kohlensäure diese organischen Eisenverbindungen in Lösung hält, so werden bei der Enteisenung mit dem Entweichen der Kohlensäure nicht bloß das Eisen, sondern auch die organischen Körper ausfallen und von dem kolloidalen Eisenoxydhydrat mitgerissen werden. Das Wasser wird nicht bloß ärmer an Eisen, sondern auch ärmer an organischer Substanz und daher dürfen wir uns nicht wundern, wenn die Eisenbakterien, die, wie wir gezeigt haben, auf organische Substanzen angewiesen sind, nicht mehr gedeihen. Das Ausbleiben der Eisenbakterien in enteisentem Wasser steht daher mit meinen Anschauungen in völligem Einklang und bildet keine Stütze der Winogradskyschen Hypothese.

---

[1]) Schwers, H., Le fer etc. l. c. p. 6.

V.

Andere Eisenorganismen.

Abgesehen von den Eisenbakterien gibt es noch eine Reihe von anderen Organismen, die auf oder in ihrer Umhüllung oder in gewissen Teilen derselben Eisenoxyd in mehr oder minder größerer Menge ablagern. Da es von Interesse ist, sich diese Fälle, mit Rücksicht auf die Winogradskysche Hypothese, vor Augen zu halten, so will ich das Wichtigste darüber hier mitteilen.[1])

Manche Algen aus der Gruppe der Conferven pflegen sich häufig mit Röhren und Gürteln aus Eisenoxydhydrat zu umgeben und wurden von Kützing in der Gattung Psichohormium vereinigt. Ich sah die Erscheinung besonders schön bei Psichohormium antliarium Kütz., weniger prägnant bei P. inaequale Kütz., Conferva rufescens Kütz. und Oedogonium sp. Die Algenfäden erscheinen bald kontinuierlich bald unterbrochen mit dickeren oder dünneren rostroten Hüllen von Eisenoxydhydrat umgeben. Häufig kann die Dicke der Hülle die Breite des Fadens um das Mehrfache übertreffen. Wenn man solche Fäden mit verdünnter Salzsäure behandelt, so löst sich die Eisenverbindung und eine farblose mit Fuchsinlösung leicht deutlich zu machende Masse von der Form und Dicke der ursprünglichen Eisenhülle bleibt zurück. Die von der Zelle gebildete Gallerthülle wirkt auf das Eisen anziehend und speichernd.

Hanstein[2]), der sich mit dieser Erscheinung zuerst etwas eingehender beschäftigt hat, erklärt die Eisenablagerung mit der Annahme, daß die nach Kohlensäure gierigen Algen den im Wasser gelösten Spateisenstein aufnehmen, die Kohlensäure desselben an sich reißen und das mittels des freiwerdenden Sauerstoffes oxydierte Eisen wieder ab-

---

[1]) Vgl. Molisch, H., Die Pflanze l. c. S. 17.

[2]) Hanstein, J., Verhandlungen des naturhist. Vereins der preußischen Rheinlande und Westphalens 1878, S. 73 der Sitzungsber.

scheiden. Experimente darüber wurden von Hanstein nicht gemacht, aber die Ansicht hat tatsächlich viel für sich, da nach den Untersuchungen von Pringsheim[1]) und Hassack[2]) manche Wasserpflanzen, die sich im Sonnenlicht mit kohlensaurem Kalk zu inkrustieren pflegen, tatsächlich einen Teil der Kohlensäure den gelösten Alkalibikarbonaten zu entziehen und zu assimilieren vermögen. Daher ist es nicht unwahrscheinlich, daß die oberflächliche Abscheidung von Eisenoxyd bei Psichohormium mit einer Dissoziation des doppeltkohlensauren Eisenoxyduls durch die Alge zusammenhängt, und daß gewisse Wasserpflanzen nicht bloß im Stande wären, die für die Assimilation nötige Kohlensäure Bikarbonaten der Alkalimetalle, sondern auch denen des Eisens zu entziehen. Ich habe diese Frage zum Gegenstande einer eigenen Arbeit gemacht und hoffe darüber später berichten zu können.

Es gibt auch noch andere Algen, die Eisen an ihrer Oberfläche, z. B. in ihrer Membran speichern. So hat Klebs[3]) auf den Eisenoxydhydratgehalt der Membranen verschiedener Closterium-Arten (Cl. didymotocum, angustatum, striolatum) hingewiesen. Ihre Membranen erscheinen wegen der Eiseneinlagerung gelb- bis rostbraun und werden bei Zufuhr von Schwefelwasserstoff infolge der Bildung von Schwefeleisen schwarz.

Nach Klebs haben auch manche Euglenaceen die Fähigkeit, anorganische Körper, speziell Eisenoxydhydrat, einzulagern. „An und für sich hat die Gallerte jeder Euglenacee dieses Vermögen, wenn man sie in eisenoxydhaltiges Wasser, z. B. 0,1 % essigsaures Eisen bringt, und diese Eigentümlichkeit ist von dem Leben der Euglena selbst unabhängig. Tatsächlich sind es in unseren Gewässern aber nur wenige Formen, bei welchen in die Gallerthülle sehr viel Eisenoxydhydrat eingelagert wird, so daß dieselbe zu einem spröden, harten Panzer sich gestaltet, so bei den Trachelomonas-Arten, in viel geringerem Grade bei Ascoglena. Für diese Fälle müßte man eine ganz besonders ausgebildete Anziehungskraft der anfangs eisenfreien, zarten Gallerthülle zuschreiben, infolge deren sie aus der höchst verdünnten Eisensalzlösung (in Form des doppeltkohlensauren Salzes), wie sie das Wasser unserer Sümpfe darstellt, das Eisenoxydhydrat herausziehen kann. Man wird aber auch an die Möglichkeit denken, daß bei diesen Arten der lebendige Orga-

[1]) Pringsheim, N., Über die Entstehung der Kalkinkrustationen an Süßwasserpflanzen. Pringsheims Jahrb. f. w. Botan. XIX, S. 138.

[2]) Hassack, C., Über das Verhältnis von Pflanzen zu Bikarbonaten und über Kalkinkrustation. Unters. aus d. botan. Institut zu Tübingen, II, S. 465.

[3]) Klebs, G., l. c. S. 383—384.

nismus bei der Eiseneinlagerung wirksam ist, um so mehr, als die bei Trachelomonas hispida, armata anfangs weiche, zarte, homogene Hülle sich später mit mannigfachen Stachelbildungen auf ihrer Oberfläche bedeckt, und es schwer erklärlich ist, dieselben anders als durch nachträgliche Einwirkung der Zelle selbst hervorgerufen anzunehmen. Allerdings ist es auffallend, daß gleich nach der ersten Ausscheidung die Euglena selbst in keinem so innigen Zusammenhange mit der Hülle steht, wie etwa die Zellhaut mit dem Zytoplasma bei Pflanzenzellen, sondern vollständig frei und gesondert sich in der Zellhaut bewegt.“ (S. 407 l. c.)

Eine besondere Anziehungskraft für Eisen haben auch die Rhizoiden zahlreicher epiphytisch lebender, mikroskopischer Algen, z. B. die von Oedogonium-Arten.

Auf der Wasserhaut eisenhaltiger Flüssigkeiten, die ich aus dem Freien nach Hause brachte und in Gläsern aufbewahrte, entwickelten sich oft verschiedene Flagellaten, die mit einem kleinen Stielchen festsaßen und von einer Membran umhüllt waren, die von eingelagertem Eisenoxyd hellbraun bis tiefbraun gefärbt war. Das Ganze macht den Eindruck einer kleinen, mit einem Loche versehenen braunen Kapsel. Ich vermute, daß diese von mir sowohl in Prag als auch in Wien beobachteten Organismen noch nicht beschrieben sind.

Ein Flagellat, der wegen seiner hochgradigen Eisenspeicherung ein hervorragendes Interesse darbietet, ist die Anthophysa vegetans Stein. Bekanntlich besteht dieser Organismus aus einem baumartig verzweigten gallertartigen Stiel und den auf den Spitzen der Zweige aufsitzenden Kolonien. Die Stiele haben eine von Eisenoxyd herrührende braune Farbe. In den älteren Teilen, also an der Basis, ist sie am tiefsten, von hier wird sie nach aufwärts immer heller und knapp unterhalb der Kolonie ist der Stiel farblos. Die Kolonien lösen sich bei mechanischer Störung leicht ab, und daher findet man in Präparaten gewöhnlich nur die eisenreichen, ziemlich dicken Fäden der Stielskelette. Dieser Organismus spielt in der Natur eine sehr wichtige Rolle, indem er, namentlich in weichen eisenhaltigen Wässern eine weite Verbreitung genießt und durch seine hochgradige Eisenspeicherung neben den Eisenbakterien, in deren Gesellschaft er gewöhnlich auftritt, an der Enteisenung natürlicher Wässer einen hervorragenden Anteil nimmt. Der eisenreiche Bodensatz, den das Moldauleitungswasser in Prag beim Stehen bildet, bestand neben Eisenbakterien und Eisenoxydhydrat häufig zum großen Teil aus den Skelettstielen der Anthophysa. Wer nicht Gelegenheit gehabt hat, sich mit dem Aussehen und der Struktur der tiefbraunen

Skelettstiele genau vertraut zu machen, könnte sie leicht mit den Gallertscheiden von Eisenbakterien, die so stark mit Eisenoxydhydrat inkrustiert sind, daß man ihren Innenkanal nicht mehr sieht, verwechseln und ich vermute, daß das, was Zopf als inkrustierte Crenothrixfäden auf Tafel III, Fig. 17 u. 18 abbildet[1]), vielleicht Bruchstücke von Anthophysa sind.

Skelettstiele, die Eisenoxyd einlagern, kommen auch bei Spongomonas, Rhipidodendron und Phallansterium vor, desgleichen braune eisenreiche Gallertröhren bei manchen Infusorien, die darin wohnen und sich innerhalb derselben hin und her bewegen. Nicht selten konnte ich beobachten, daß die Stiele von Carchesium von eingelagertem Eisenoxydhydrat eine bräunliche Farbe annehmen. Nach dem Gesagten gibt es also neben den Eisenbakterien noch eine Reihe niederer Organismen, die die im Wasser gelösten Eisenspuren in oder auf ihrer Membran in Oxydform anhäufen, das Eisen also speichern: Algen, Flagellaten und Infusorien. Man kann daher ebenso wie man von Eisenbakterien, Eisenflechten[2]) spricht, auch von Eisenalgen und Eisenflagellaten reden und für alle diese Lebewesen mit Gaidukov[3]) auch den Terminus Eisenorganismen gebrauchen. Die Art und Weise, wie das Eisen bei diesen verschiedenen Lebewesen gespeichert wird, dürfte wohl nicht überall gleich sein. Wie man sich die Eisenablagerung auf der Oberfläche der Conferva (Psichohormium) zu denken hat, wurde bereits oben auf S. 53—54 erörtert.

Bei Closterium und Trachelomonas inkrustriert das Eisen die Membran, es ist aber nicht bekannt, ob die Eisenspeicherung von der Kohlensäureassimilation, also vom grünen Plasma und dem Lichte oder von der Natur der Membran allein abhängig ist.

Da wir bereits wissen, daß bei den Eisenbakterien anstatt des Eisens auch Mangan gespeichert werden kann, sei auf eine Beobachtung Peklos[4]) hingewiesen, nach der sich eine marine Cocconeis mit braunem Manganoxyd umgibt. Er fand auf der dalmatinischen Insel Arbe in einem Salinenfeld einen auffallend braunschwarzen Boden, dessen Farbe durch die reiche Vegetation einer eigentümlichen Cladophoraart hervorgerufen war. Die Fäden dieser Alge waren über und über besetzt mit

[1]) Zopf, W., Entwicklungsgeschichtliche Untersuchung über Crenothrix usw. l. c.

[2]) Molisch, H., Die Pflanze, l. c. S. 21.

[3]) Gaidukov, N., Über die Eisenalge Conferva und die Eisenorganismen des Süßwassers im allgemeinen. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1905, S. 250—253.

[4]) Peklo, J., Über eine manganspeichernde Meeresdiatomee. Österr. bot. Zeitschr. 1909, Nr. 8.

einer Cocconeis, von denen jede mit einer 1,3 μ bis 2,6 μ dicken oder noch dickeren braunschwarzen Hülle bedeckt war, die viel Manganhydroxyd enthielt. Die Manganhülle war die Ursache der bräunlichschwarz erscheinenden Cladophorarasen. Peklo hält es für wahrscheinlich, daß die reichlichen Mengen von Manganhydroxyd rings um die Cocconeis-Individuen dem Manganobikarbonat ihren Ursprung verdankten, nachdem dessen Kohlensäure von der Diatomee (freilich unter gleichzeitiger Oxydation im Sinne der älteren Anschauungen) assimiliert worden ist.

Die Eisenspeicherung bei Anthophysa bietet mit Rücksicht auf die der Eisenbakterien ein großes Interesse. Wir haben es auch hier mit einem chlorophylllosen Organismus zu tun, dessen Gallertstiele Eisen gierig aufnehmen und speichern. Sie entstehen dadurch, daß die Kolonie Gallerte in Form eines Stieles ausscheidet. Die Gallerte ist ein Exkret, frei von Plasma und vermag doch das Eisen zu speichern und sich durch Eisenoxyd braun zu färben. Gerade da, wo die Gallerte noch an die Kolonie grenzt, ist sie noch farblos, erst in den älteren Teilen, am meisten gegen die Basis der Stiele zu, also weit von dem Plasma der Kolonie, erfolgt Eisenspeicherung und Braunfärbung. Das spricht wohl sehr dafür, daß ebenso wie bei den Eisenbakterien auch hier in erster Linie der chemisch-physikalische Zustand der Gallerte maßgebend ist für die Eisenspeicherung und daß die Oxydation des Eisenoxyduls nicht durch das Plasma, denn dieses fehlt ja im Gallertstiel, erfolgt, sondern durch den in Wasser gelösten Sauerstoff. Die Analogie geht hier insofern noch weiter, als auch die Anthophysa an Stelle des Eisens Mangan in großen Mengen zu speichern vermag, wie Adler[1]) durch Kulturen nachgewiesen hat.

Wenn die Einlagerung des Eisens bei Leptothrix ochracea nicht jene Bedeutung besitzt, wie sie ihr Winogradsky zugeschrieben hat, so soll damit nicht gesagt sein, daß der Eisenspeicherung der Eisenbakterien und der Eisenorganismen überhaupt keine Bedeutung zukommt. Dies zugegeben, ist es auch von vornherein nicht notwendig anzunehmen, daß die Eisenansammlung überall dieselbe Bedeutung habe. Bei Psichohormium mag die Eisenfällung auf der Oberfläche der Fäden nur eine Konsequenz sein der Dissoziation des kohlensauren Eisenoxyduls durch die assimilierende Zelle. Sie entnimmt zum Zwecke der Assimilation dem Eisenbikarbonat die Kohlensäure und das zurückbleibende Eisenkarbonat wird von der Gallerte zurückgehalten und hier durch den Sauerstoff der Umgebung oxydiert.

[1]) Adler, O., l. c. S. 218.

Bei den Closterien und bei Trachelomonas dient — und darauf hat zuerst Gaidukov[1]) aufmerksam gemacht — das Eisen „als Schutz- und mechanische Vorrichtung“ in ähnlicher Weise wie die Kieselsäure in den Panzern der Diatomeen und in den Epidermiszellen der Schachtelhalme und Gräser. So wie diese bei der Veraschung ein Kieselskelett der Epidermiswände zurücklassen, so erscheinen die Membranen der genannten Eisenorganismen nach dem Glühen in Form eines Eisenoxydskelettes. Dieselbe Rolle wie bei Closterium und manchen Flagellaten dürfte das Eisen bei den Rhizoiden vieler Algen (Oedogonium usw.) spielen. Auch die Gallertscheide der Eisenbakterien erhält durch die Eiseneinlagerung einen anderen physikalischen Charakter, sie wird zunächst dicker, später aber spröder und starrer, so daß man auch hier von einem Eisenoxydpanzer sprechen kann, der die zarten Bakterienzellen schützend umhüllt.

Auch darf nicht übersehen werden, daß die Eisenorganismen durch ihre Vorliebe für relativ stark eisenhaltige Wässer einen Vorteil genießen vor jenen im Wasser lebenden Organismen, die so große Eisenmengen nicht vertragen. — Das ist ja eine in der Natur häufige Erscheinung, daß unter anderem die Chemie des Substrates das Auftreten gewisser Gewächse bedingt. Die Torfmoose erscheinen nur auf sehr kalkarmen, die Ruderalpflanzen auf sehr stickstoffreichen, die Humuspflanzen auf sehr humösen, die Schwefelbakterien in schwefelwasserstoffreichen, die Sproßpilze in sauren und die meisten Bakterien in alkalischen Substraten.

[1]) Gaidukov, N., l. c. S. 252.

VI.

Die Eisenbakterien in ihrer Beziehung zur Entstehung von Raseneisenerzen.

Schon Ehrenberg[1]) hat in seinem großen Infusorienwerk die Vermutung ausgesprochen, daß speziell die Gallionella, die er noch für eine Diatomee hielt, die Entstehung von Rasenerz bedingt. Er ist der Meinung, „daß die Gallionella ferruginea durch ihre staunenswerte Vermehrung das in ihr enthaltene Eisen in den Sümpfen lokal anhäufe, und daß vielleicht alles Raseneisen samt der Gelberde sumpfiger oder ehemals sumpfiger Gegenden nicht sowohl aus verwitterndem Eisenerze, sondern aus zusammengebackenen Gallionellenschalen bestehe, deren Zusammensintern das Eisen bilde". Und im Anschluß hierzu sagt er: „Jedenfalls scheint jedoch das Sumpfeisen sich aus dem Ocker, nicht umgekehrt, so zu bilden, wie sich der Halbopal aus dem Polierschiefer, und die Feuersteine aus dem Steinmark der Kreide bilden." Schließlich fügt er vorsichtigerweise und ganz nach meinem Geschmack hinzu: „Weitere Folgerungen aus diesen Beobachtungen bleiben hier ausgeschlossen und es ist nur zu warnen, daß nicht leichtfertig Schlösser auf diesen allerdings interessanten Boden erbaut werden, den erst zu ebnen, zu reinigen und zu befestigen die Aufgabe der nächsten Zeit ist" (S. 170).

Eine ähnliche Ansicht hat auch Winogradsky[2]), ohne sie zu begründen, ausgesprochen, denn er hält es für höchst wahrscheinlich, daß die kolossalen Ablagerungen von Eisenmengen, die unter den Namen von Sumpf-, See-, Wiesenerz, Raseneisenstein usw. bekannt sind, durch die Tätigkeit von Eisenbakterien zu Stande kommen. Belege, die zur Begründung dieser Ansicht dienen sollen, hat Winogradsky in Aussicht gestellt, doch sind meines Wissens einschlägige Untersuchungen von ihm darüber nicht erschienen.

---

[1]) Ehrenberg, C. G., l. c. S. 169.
[2]) Winogradsky, S., l. c. S. 270.

Ich selbst habe schon vor 18 Jahren diese Frage einer eingehenden Prüfung unterworfen.[1]) Es wurden damals 9 Proben aus der im steier-

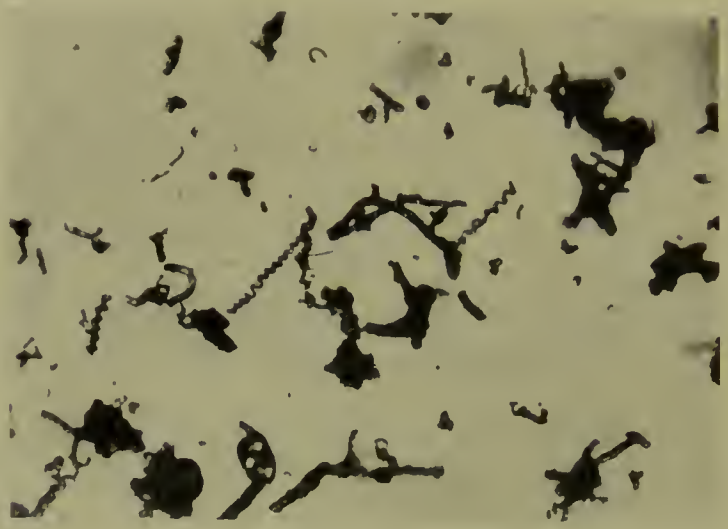


Fig. 11 a.
Rasenerz aus Sibirien. Ockermasse im Wasser präpariert und photographiert. Die Hauptmasse besteht aus Bruchstücken der leeren rostroten Scheiden von Gallionella ferruginea und Leptothrix ochracea. Vergr. ca. 525.

märkischen Landesmuseum vorhandenen Raseneisenerz-Sammlung. 25 Proben aus der mineralogisch-petrographischen Abteilung des k. k. naturhistorischen Hofmuseums in Wien mikroskopisch untersucht und dabei das Augenmerk auf die An- und Abwesenheit von Eisenbakterien gerichtet. Im ganzen wurden also damals 34 Proben der verschiedensten Provenienz geprüft. Eisenbakterien wurden aber nur bei zwei sibirischen Proben und einer aus Preußisch Schlesien aufgefunden. Das feine ockerige Pulver dieses sibirischen Erzes besteht größtenteils ganz aus Bruchstücken der leeren Scheiden von Gallionella und Leptothrix. Die Gallionellastücke stellen bald engere bald weitere Schrauben dar, bald längere bald kürzere, bald dünnere bald

Fig. 11 b.
Rasenerz aus Sibirien. Bruchstücke der Scheiden bei etwas stärkerer Vergrößerung gezeichnet. Vergr. ca. 590.

[1]) Molisch, H., Die Pflanze usw. l. c. S. 72.

diekere. Dazwischen liegen die geraden oder wenig gekrümmten Röhrchen der Leptothrix (siehe Fig. 11 a u. 11 b).

Stellenweise treten die Bakterien zurück und amorpher Oeker gewinnt die Oberhand. Zwischen diesen beiden Extremen kommen Übergänge vor. Meine Beobachtungen zwangen mich damals zu dem Schluß, daß die Rasenerze mit und ohne Eisenbakterien entstehen können, daß an dem Aufbau der Rasen- und Sumpferze sieh Eisenbakterien zwar gewöhnlieh nieht beteiligen, daß sie aber in gewissen Fällen für die Bildung der genannten Erze von großer Bedeutung sind, ja mitunter ganz aus den Seheiden der Eisenbakterien bestehen.

Wesentlich zu demselben Ergebnis wie ieh kam später Sehwers[1]) in seiner überaus fleißigen, auf einem reiehen Untersuchungsmateriale fußenden Arbeit. Er untersuehte die in Belgien vorkommenden Oekerniederschläge (dépôts oereux) der Wässer, unter anderem aueh in ihrer Beziehung zu den Eisenbakterien und fand, daß die Oekerbildung ohne jede Intervention von Eisenbakterien stattfinden kann, daß sich aber diese an der Erzbildung aueh beteiligen können. Sehwer fügt aber ausdrücklieh hinzu: „elles ne jouent cependant qu'un rôle tout à fait seeondaire dans la formation des dépôts oereux“ (S. 53). Obwohl er mehr als 200 Ockerabsätze untersuchte, kommt er doch zu dem Resultat: „Par eonséquent, ce n'est qu'exeeptionnellement qu'un dépôt oereux peut être attribué à l'activité des bactéries ferrigineuses“ (S. 54).

Dies gilt vornehmlieh von den Ockermassen, die sich in fließendem Wasser ansammeln, hingegen kommen in kleineren Laken und Tümpeln mit stagnierendem Wasser Eisenbakterien relativ häufiger vor und dann nehmen sie an der Ockerbildung aueh teil.

Da die oben erwähnte Ansicht Winogradskys trotz meiner vielfaeh entgegengesetzten Befunde an Raseneisenerzen in der Literatur immer wieder uneingeschränkt und kritiklos wiedergegeben wird, so habe ich mir zur Ergänzung meiner früheren Untersuchungen neuerdings noeh eine Reihe von Rasenerzen und Sumpferzen versehafft und einer mikroskopisehen Prüfung in Bezug auf das Vorhandensein von Eisenbakterien unterworfen.

Meine verehrten Herren Kollegen an der Wiener Universität, die Professoren Beeke, Doelter und Uhlig haben mir in der bereitwilligsten Weise das Material ihrer Sammlungen zur Verfügung gestellt. Desgleiehen hatte der Direktor der Wiener geologischen Reiehsanstalt, Herr Hofrat Tietze, die Güte, mir eine hier befindliche Probe zugänglieh

[1]) Schwers, H., Le fer etc. l. c.

zu machen. Allen diesen Herren sage ich hierfür meinen verbindlichsten Dank.

Jede Probe wurde mehrmals in ihren verschiedenen Teilen mikroskopisch untersucht, zunächst in Wasser, dann in sehr verdünnter Salzsäure. Größere Brocken legte ich für mehrere Tage in verdünnte Salzsäure, um den zurückbleibenden Rückstand auf die Anwesenheit von Organismen zu prüfen. Konzentrierte Salzsäure muß bei solchen Versuchen vermieden werden, weil sich die Scheiden der Eisenbakterien darin ganz auflösen.

Es kommen bei derartigen Untersuchungen hauptsächlich Quellerze, Limonite und Seeeisenerze in Betracht. Die Quellerze bilden sich da, wo kohlensäurereiche, Ferrokarbonat in Lösung haltende Quellwässer zu Tage treten, mit dem atmosphärischen Sauerstoff in Berührung kommen, Kohlensäure abgeben, das Eisen fällen und so nach der Oxydation ockerige Niederschläge als Quellerze entstehen lassen.

Oxydierte Eisenverbindungen können durch und ohne Organismen in großen Mengen niedergeschlagen werden und werden dann als Limonite und Seeerze bezeichnet.

Die Limonite oder Wiesenerze (*λειμων*, Wiese) treten in verschiedenen Varietäten und Formen auf: in Knollen, Klumpen, schwammig, dicht oder porös. Man spricht von Klump-, Modereisen (Eisenhumat), von Morast- oder Schlammerz, wenn es sich noch in schwammigem Zustande befindet, von Mooreisen-, Rasen-, Raseneisenstein, wenn es verfestigt ist, von Sumpferz, Sumpfeisen usw.

Die Seeeisenerze finden sich gewöhnlich auf dem Grunde offener Wässer in bestimmten Tiefenzonen und gehen meist von kugeligen Konkretionen aus. Nach Potonié[1]) ist anzunehmen, „daß bei der Entstehung der in Rede stehenden Bildungen — wie die oft konzentrisch lagenweise Schichtung zu erkennen gibt — auch durch chemische Attraktion ohne Mitwirkung der Organismen Niederschlag erfolgt, so daß die Seeerze in der Tat mehr oder minder als Konkretionen, als Oolithe anzusehen sind, deren erste Veranlassung jedoch die Fähigkeit von Organismen ist, Eisenverbindungen zu speichern, wodurch zunächst ein Attraktionszentrum geschaffen wird.“[2])

[1]) Potonié, H., Eisenerze, veranlaßt durch die Tätigkeit von Organismen. Naturwissenschaftliche Wochenschrift 1906, S. 166.

[2]) Die am Grunde des Meeres vorkommenden „Manganknollen“ bedürfen mit Rücksicht auf ihre Entstehung noch genauerer Untersuchung. Da anstatt des Eisens, wie ich gezeigt habe, bei den Eisenbakterien auch Mangan ausgezeichnet gespeichert wird, so war die Vermutung berechtigt, daß vielleicht bei

Die untersuchten Erze waren folgende:

1. Limonit aus Nučitz bei Kladno in Böhmen. Ein aus harten und weichen Partien bestehendes Stück.
2. Limonit von Wanna in der Bukowina. Erdig, gelbbraun. Die ockerige weiche Masse zerstäubt leicht.
3. Limonit von Kwikau bei Teplitz. Erdig, schalige Konkretion. Die erdige gelbbraune Masse zerstäubt bei der Behandlung mit der Nadel zu einer staubartigen Masse, deren Teilchen häufig Brownsche Molekularbewegung zeigen.
4. Limonit von Rio marina der Insel Elba. Derb, schalig, stellenweise ockerig, sonst hart schlackenartig.
5. Limonit aus einem Torfmoor von Marienbad. Erdig, tief rostrot.
6. Limonit von Hannkogel unweit Reichenberg in Krain.
7. Limonit von Marmarosch. Holzversteinerung mit Pflanzenabdrücken. Ziemlich hart, stellenweise ockerig.
8. Limonit von Niederbrunn im Elsaß. Erdige Knollen bis Erbsengröße, gelbbraun.
9. Limonit aus Radstadt in Salzburg. Dicht, erdig, knollig.
10. Limonit aus der Rheinpfalz. Kieselig, tropfsteinartig.
11. Hämatit, Fundort unbekannt. Erdige, abfärbende braunrote Knollen.
12. Limonit aus Belgien. Derb, ockerig, Versteinerungsmaterial von Rhynchonella.
13. Raseneisenerz von Žukan in Schlesien.
14. Quellerz von Dobrau in Schlesien.
15. Brauneisenocker von der Burg Reiting i. d. Steiermark.
16. Brauneisenstein von Dobschau in Ungarn.
17. Limonit von Raibl in Kärnten.
18. Brauneisenstein von Podgoro bei Macarsca in Dalmatien.
19. Limonit von Lhota in Böhmen.
20. Limonit v. D. Altenburg in Niederösterreich, Quellbildung.
21. Brauneisenstein von Czyzowka. Ockerig.
22. Arragonitsinter mit Ocker aus einem Bäderleitungsrohr von Karlsbad in Böhmen.
23. Brauneisenstein von Plocki.

---

der Bildung der Manganknollen Eisenbakterien beteiligt seien. Ich hatte Gelegenheit, eine Probe von Manganknollen, die von der Challenger-Expedition aus dem Süden Australiens herrührte, zu untersuchen, habe aber darin weder Eisenbakterien noch sonst welche Organismenreste gefunden.

24. Quellerz von Dobrau in Österreichisch Schlesien.
25. Sumpferz aus Queensland.
26. Rasenerz aus Zuckau in Österreichisch Schlesien.
27. Raseneisenstein von Plaß, Bezirk Kralowitz in Böhmen. Mit Blattabdrücken und anderen Pflanzenresten. Der größere Teil des Stückes läßt keine Eisenbakterien erkennen, aber hie und da findet man in zylindrischen Höhlen ockerige Massen, die fast ganz aus Bruchstücken der Scheiden von Leptothrix ochracea bestehen (siehe Fig. 12 a und Fig. 12 b).

Von den 27 neuerdings untersuchten erdigen, löcherigen und knolligen Limoniten, die als Raseneisenerz zusammengefaßt werden und die, wie die Aufzählung lehrte, aus den verschiedensten Gegenden stammten, hat nur eines (Nr. 27) stellenweise reichlich Eisenbakterien und zwar die Leptothrix ochracea aufgewiesen. Hierdurch werden meine vor 18 Jahren veröffentlichten, an 34 Rasenerzen gewonnenen Beobachtungen bestätigt. Wenn ich meine früheren und meine jetzigen Proben addiere, so wurden von mir im ganzen $34 + 27 = 61$ Rasenerze geprüft, jedoch nur bei 4, also bei 6,5 %, Eisenbakterien gefunden. Es können sich demnach Eisenbakterien an der Bildung der Rasenerze sicher beteiligen, doch ist dies keineswegs so allgemein der Fall, wie dies Ehrenberg und Winogradsky behauptet haben.

Man könnte vielleicht einwenden, daß die Sumpf- und Raseneisenerze gewöhnlich deshalb keine Eisenbakterien aufweisen, weil sie, lange Zeit in der Erde liegend, Veränderungen erlitten, daß ihre organische Substanz zerstört, das Eisenoxydhydrat der Scheiden vielleicht kristallinisch oder sonst irgendwie verändert wurde, wodurch die Scheiden dann als solche verschwanden.

Dieser Einwand verdient Berücksichtigung, weil Schorler bei seinen Untersuchungen über die Rostbildung in den Dresdener Wasserleitungsröhren (siehe S. 73) die Beobachtung gemacht hat, daß die Fäden der Gallionella, die den Rost in den von ihm untersuchten Röhren hauptsächlich zusammensetzen, mit dem Alter des Rostes durch molekulare Veränderungen und Kristallisation des durch die Gallionella deponierten Eisenoxydhydrats zum Verschwinden kommen. Analoges wäre ja auch bei den Rasenerzen möglich und es könnten daher jene Rasenerze, bei denen derzeit keine Eisenbakterien nachweisbar sind, vielleicht doch durch sie entstanden sein. Ich gebe zu, daß dies in der Natur tatsächlich zutreffen könnte. Andererseits ist aber nicht einzusehen, warum

Rasenerze nicht auch ohne Eisenbakterien entstehen könnten. Die von mir durchgeführten Untersuchungen an ganz jungen ockerigen Nieder-

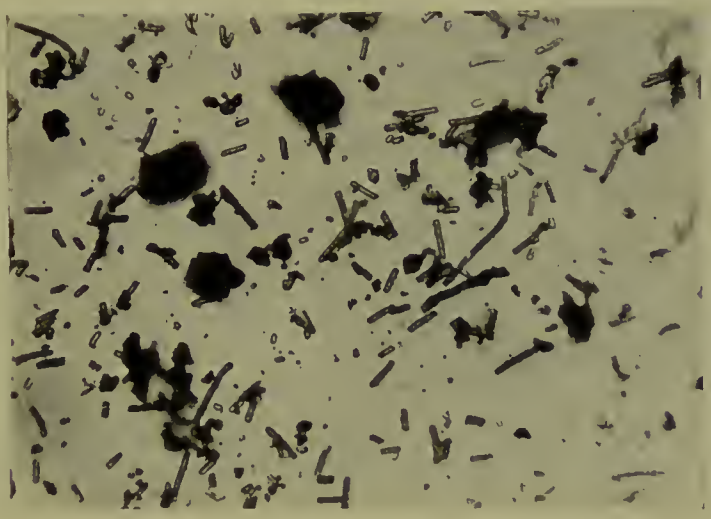


Fig. 12 a.
Rasenerz von Plass in Böhmen. Ockerige Masse im Wasser präpariert und photographiert. Die Hauptmasse besteht aus Bruchstücken der leeren rostroten Scheiden von Chlamydothrix ochracea. Vergr. ca. 525.

schlägen in der Natur lehrten, daß sie, je nach der Örtlichkeit, rein physikalisch-chemisch — das ist der häufigere Fall — oder auch biologisch unter Mithilfe von Eisenbakterien und, wie ich gefunden habe und später an einem anderen Orte auseinandersetzen werde, auch durch Intervention von grünen Wasserpflanzen entstehen. Ich habe in der Natur hunderte von neu entstehenden Ockerproben untersucht, in vielen keine, in einzelnen spärlich oder reichlich Eisenbakterien gefunden. Wir werden daher wohl kaum mit der Annahme fehl gehen, daß sich die Rasenerze nicht immer in gleicher Weise bilden und daß sie auch ohne Eisenbakterien entstehen können.

Fig. 12 b.
Rasenerz von Plass in Böhmen. Die Scheiden bei etwas stärkerer Vergrößerung gezeichnet. Vergr. ca. 580.

Von vornherein ist es ja nach allen unseren Erfahrungen sicher, daß sich Eisenoxydhydratniederschläge aus dem Wasser in der Natur auch rein physikalisch-chemisch bilden und zur Entstehung ockeriger

Massen von Sumpf- und Rasenerzen Veranlassung geben müssen. Das Grund-, Moor- und Torfwasser enthält gewöhnlich kohlensaures Eisenoxydul mehr minder reichlich gelöst und wenn solche Wässer mit der atmosphärischen Luft in Berührung treten, wird der Sauerstoff der Luft sofort oxydierend auf das Oxydul wirken, Kohlensäure wird entweichen und Eisenoxydhydrat wird herausfallen.[1])

Das kann man auf Schritt und Tritt in der Natur beobachten. Treten in solchen Wässern auch organische Substanzen auf, so ist die Möglichkeit für die Entwicklung von Eisenbakterien gegeben und dann können sich diese selbstverständlich auch an der Bildung von ockerigen Niederschlägen, Absätzen und Ablagerungen beteiligen. Dieser meiner Ansicht, die ich schon in meinem Eisenbuche ausgesprochen habe, daß ockerige Niederschläge und Rasenerze mit und ohne Eisenbakterien entstehen können, stimmt man immer mehr und mehr zu, so auch Potonié in seinem vortrefflichen populären Artikel über Eisenerze.[2]) Ich will aber hier darauf hinweisen, daß nach meinen in letzter Zeit gemachten Beobachtungen bei der Überführung von gelöstem in ungelöstes Eisen in natürlichen Wässern nicht bloß den Eisenbakterien, sondern auch, und zwar in gewissem Grade, den grünen submers lebenden Wasserpflanzen eine Rolle zufallen kann.

Es gibt bekanntlich eine Reihe von Wasserpflanzen, die sich im Sonnenlichte auf der Oberfläche ihrer grünen Organe, insbesondere der Blätter, mit kohlensaurem Kalk inkrustieren. So Elodea, Vallisneria, Ceratophyllum, Chara, Cladophora, Oedogonium, Potamogeton und andere. Und schon Pringsheim[3]) hat nachgewiesen, daß die Kalkinkrustation vom Lichte und von der Kohlensäure-Assimilation abhängig ist.

Hassack[4]) verfolgte diese Erscheinung weiter und zeigte, daß die Wasserpflanzen einen Teil der Kohlensäure den gelösten Alkalibikarbonaten zu entziehen und zu assimilieren vermögen, wodurch sie eine Überführung der doppeltkohlensauren Salze in die normalen Verbindungen bewirken.

Im Anschlusse an die Untersuchungen von Klebs, welcher fand, daß Algen im Sonnenlichte das Wasser alkalisch machen, konnte

[1]) Vgl. darüber auch Schwers, H., l. c.

[2]) Potonié, H., Eisenerze veranlaßt durch die Tätigkeit von Organismen. Naturwissensch. Wochenschrift 1906, S. 161.

[3]) Pringsheim, N., Über die Entstehung der Kalkinkrustation an Süßwasserpflanzen. Jahrbücher f. wissensch. Botanik, Bd. 19, 1888, S. 138.

[4]) Hassack, C., Über das Verhältnis von Pflanzen zu Bikarbonaten und über Kalkinkrustation. Unters. a. d. bot. Institut zu Tübingen, Bd. 2, S. 465.

Hassak das Gleiche auch für höhere Wasserpflanzen, nämlich für Elodea und Ceratophyllum, feststellen und er ist der Meinung, daß diese Pflanzen im Lichte Alkali ausscheiden und daß die Sekretion im innigen Zusammenhang mit der Kalkinkrustation steht. Von Wichtigkeit erscheint, daß die Inkrustation nicht bloß im Wasser, welches Kalkkarbonat, sondern auch in Wasser, welches irgend ein Kalksalz gelöst enthält, erfolgt. Daher nimmt Hassack an, daß die genannten Wasserpflanzen während der Assimilation kohlensaures Alkali abscheiden und daß dieses die Kalksalze als Karbonat fällt.

Wenn dem so wäre, und ich wüßte nicht, was man dagegen einwenden könnte, so ist es naheliegend anzunehmen, daß infolge der Ausscheidung eines kohlensauren Alkalis und der hierdurch hervorgerufenen Alkaleszenz auch die gelösten Eisenverbindungen gefällt werden. Ich bin eben im Begriffe, diese Frage einer speziellen Untersuchung zu unterwerfen und gedenke darüber seinerzeit an einem anderen Orte zu berichten.

Die Ursache der Eisenfällung in einer an der Luft stehenden Lösung kann sehr verschiedene Ursache haben. Sie kann veranlaßt werden durch die Berührung mit dem Luftsauerstoff, durch das Entweichen der absorbierten Kohlensäure, durch den Verbrauch der Kohlensäure infolge des Assimilationsprozesses, durch den bei der Assimilation entbundenen Sauerstoff, wenn Eisenoxydulverbindungen vorhanden sind und diese oxydiert werden und endlich durch die Ausscheidung von Alkali von Seiten der im Lichte assimilierenden Wasserpflanzen. Dieser letzte Faktor spielt vielleicht in der Natur eine wichtige Rolle, denn die in den Teichen, Tümpeln, Kanälen, Rinnsalen und Sümpfen submers lebenden Wasserpflanzen, von den Algen aufwärts bis zu den Phanerogamen, erhöhen im Lichte ständig die Alkaleszenz des Wassers und fördern hierdurch wahrscheinlich die Fällung des Eisens.

Überblicken wir die in diesem Kapitel mitgeteilten Untersuchungen, so können wir sagen: Die in der Natur vorkommenden Rasen-, Sumpf- und Quellerze können sich durch und ohne Eisenbakterien bilden, mitunter — das ist aber nicht der gewöhnliche Fall — können diese sich an der Bildung und dem Aufbau der Rasenerze in so hohem Grade beteiligen, daß die genannten Erze buchstäblich fast ganz aus den Scheiden von fädigen Eisenbakterien (Gallionella und Leptothrix) bestehen.

VII.

Die Eisenbakterien in ihrer Beziehung zur Praxis.

Schon aus dem ersten Kapitel dieser Schrift ging hervor, daß die fädigen Eisenbakterien durch ihr massenhaftes Auftreten in den Bassins und Röhren der Wasserleitungen zu einer jeden Stadtbewohner höchst belästigenden Kalamität werden können. Sowie aus irgend einem Grunde sich dem Wasser gewisse Mengen organischer Substanzen beimischen, stellen sich häufig Eisenbakterien als unwillkommene Gäste ein und vermehren sich dann in dem Maße, daß das Wasser nicht bloß für den Menschen unappetitlich und unbrauchbar, sondern auch für industrielle Zwecke untauglich wird (S. 1—8).

Bei Einführung einer neuen Wasserleitung muß der Umstand wohl erwogen werden, ob der Eisengehalt und die Menge organischer Substanzen in dem Wasser nicht etwa die üppige Entwicklung der Eisenbakterien und damit eine Störung bedingen könnte, durch die die Brauchbarkeit der ganzen Wasserleitung illusorisch werden kann. Es ist dies besonders bei Grundwasserleitungen zu beachten. Ich verweise diesbezüglich auf die im 1. Kapitel gemachten Angaben.

1. Die Rostbildung in den Wasserleitungsröhren.

Die Eisenbakterien können aber in eisernen Wasserleitungsröhren, und um solche handelt es sich ja gewöhnlich, noch eine andere für den Menschen unangenehme Rolle spielen.

An der inneren Oberfläche der Röhren tritt häufig eine Rostbildung ein und diese kann im Laufe der Jahre einen so hohen Grad erreichen, daß das Lumen der Röhre immer enger und enger wird, wodurch die Wasserkapazität der Röhre und die Ausgiebigkeit des Wasserstromes immer geringer wird. Hierzu kommt, daß sich von der Rostmasse zeitweise Stücke ablösen, vom Wasser fortgerissen werden und eine schmutzige Trübung veranlassen. In der Prager Nutzwasserleitung kann man diese

höchst lästige Erscheinung täglich beobachten. Das Wasser hat hier oft eine tiefbraune Färbung und gibt beim Stehen einen ziemlich voluminösen ockerigen Absatz. Ich erinnere mich noch lebhaft einer kleinen Episode, die ich in Prag im Jahre 1894 erlebte, als ich in einer öffentlichen Badeanstalt ein Wannenbad nehmen wollte. Die zum Bade hergerichtete Wanne enthielt zu meiner unangenehmen Überraschung ein Wasser von tiefbrauner Farbe und rostbrauner Trübung. Mit den Verhältnissen in Prag damals nicht vertraut und in der Meinung, daß hier ein grobes Versehen vorliege, rief ich die Badedienerin und machte sie auf das unreine Wasser aufmerksam. Sie aber lächelte über mein Erstaunen und tröstete mich mit der Bemerkung, daß es immer so sei.

Die braune Farbe des Moldauwassers in dicker Schicht rührt, da es einen moorigen Charakter hat und reichlich Humussubstanzen enthält, hauptsächlich von den organischen Substanzen des Torfes und der Moore her, durch die sich die Moldau in ihrem Oberlaufe bewegt. Die Färbung wäre also an und für sich nicht auffallend und bedenklich gewesen, aber die rostrote Trübung, die das Wasser so unappetitlich machte, stammte von den ockerigen Ablagerungen innerhalb der Wasserleitungsröhren.

Mir liegt eine Abhandlung von Professor J. C. Brown[1]) vor, die sich vom chemischen und biologischen Standpunkte mit dem Innenroste der eisernen Wasserleitungsröhren beschäftigt. Da die Sache von großer praktischer Wichtigkeit ist und auch mit der Biologie der Eisenbakterien in einem gewissen Zusammenhange steht, so will ich das Wesentliche aus dieser schwer zugänglichen Schrift hier mitteilen.

Die Inkrustation beginnt in Röhren, die an der inneren Oberfläche nicht durch eine Pechschicht geschützt sind, in Form von mehr oder minder zahlreichen kleinen Punkten, die bald regelmäßig in Reihen, bald unregelmäßig verlaufen. Diese Rostpunkte fließen schließlich zusammen und bilden eine geschlossene Schicht von oft beträchtlicher Dicke. In Röhren von engem Kaliber kann schließlich das ganze Lumen durch Inkrustation verstopft werden und wenn diese nicht irgendwie z. B. durch eine Kratzbürste entfernt wird, kann die Wasserleitung vollständig versagen. Die Hauptmasse derartiger Ablagerungen besteht, wie aus folgender Analyse hervorgeht, aus Eisenoxyd. Eine junge Inkrustation, die keine Eisenbakterien enthielt und die innerhalb fünf Monaten in einer ungepechten Wasserleitungsröhre entstand, enthielt:

[1]) Brown, J. C., Deposits in pipes and other channels conveying potable water. The institution of civil engineers. Paper Nr. 3453 (private), London (1903—1904).

Feuchtigkeit	2.62
Glühverlust	24.19
Eisenoxyd	57,95
Eisenoxydul	9,17
Kalk	2.06
Magnesia	Spur
Schwefelsäure (SO_3)	1,43
Schwefel	Spur
Unlösliches in Salzsäure	2,58
	100.00

Bezüglich des Auftretens von Eisenbakterien in derartigen Rostbildungen hat Brown gefunden, daß sie darin auftreten können, aber relativ selten. Nach Beobachtungen, die der genannte Forscher in Großbritannien, Schottland und an anderen Orten gemacht hat, waren viele Proben ganz frei von Eisenbakterien und frei von jeder Spur von Leben. „Although organisms are found in some incrustations and may modify their composition, yet incrustations are often free from every trace of life" (p. 4). Die Rostablagerungen entstehen auch in Röhren, deren Wässer keine Eisenbakterien enthalten oder aus denen sie entfernt wurden. Die Inkrustationen bilden sich sowohl in sauren, neutralen als auch in alkalischen Wässern. Die Neutralisation mit Kalk oder Soda hindert die Entstehung nicht, wesentlich aber für die Rostbildung ist die Berührung des Eisens mit Wasser.

Unter den verschiedenen Mitteln, die man angewendet hat, um die Bildung des Rostes, zu dem die Röhre das Eisenmaterial liefert, zu verhindern, hat sich nur eines bewährt: das ist die Auskleidung der Innenseite der Röhre mit einer glatten und vollkommenen Lage von Pech. Das zu diesem Zwecke verwendete Pech muß möglichst frei von Kohlenwasserstoffen und flüchtigen Substanzen sein. Ihre Entfernung gelingt durch langes Liegen im Wasser. Eine zweite Art von Inkrustation in den Röhren wird gebildet von einer Lage dunklen Schleimes, die großenteils aus Eisen besteht. Während aber das Eisen der früher erwähnten Rostmassen aus dem Eisen der Rohre stammt, rührt das Eisen des Schleimes aus dem Wasser her. Die Analyse dieses Schleimes ergab:

Eisenoxyd	42,23
Manganoxyd	5.98
Manganperoxyd	9.58
Kalk	1.67
Magnesia	13.74
Sulfate	Spuren
Glühverlust	26.80
	100.00

Die Manganverbindungen verleihen dem Schleime die dunkle Farbe. Nach Behandlung des Schleims mit Oxalsäure, die die Eisen- und Manganverbindungen löst, konnte Brown die Scheiden der Bakterien deutlich machen und in einer Anzahl von Schleimsorten nachweisen. Nach den beigegebenen Bildern handelt es sich meiner Ansicht nach um Gallionella ferruginea und Leptothrix ochracea.

Die Entstehung des Schleimes denkt sich der genannte englische Forscher in folgender Weise: Die Keime der Eisenbakterien werden mit dem Wasser in die Röhren gebracht, bleiben hier haften und wachsen zu Fäden aus, die in ihrer Scheide Eisenoxyd ablagern. Indem dann noch die im Wasser schwebenden festen Partikeln an der schleimigen Oberfläche der Bakterien haften bleiben und sich mit ihnen verfilzen, kommt die Schleimlage zu Stande. Für die Ausbildung des Schleimes erscheint nach Brown saures Wasser und organische Eisenverbindungen maßgebend.

Um das Wachstum und Aufkommen des Schleims zu verhindern, hat man zwei Wege betreten: Der eine zielt auf die Schaffung ungünstiger Entwicklungsbedingungen der Eisenorganismen, der andere auf die Entfernung ihrer Nahrung. Das erstere suchte man durch Alkalischmachen des Wassers mittels Kalk und Soda zu erreichen. Es zeigte sich dann, daß in neutralem und alkalisch gemachtem Wasser die Eisenorganismen nicht wuchsen. Das letztere wollte man durch Filtration erzielen. Eine gute Filtration hält das an organische Stoffe gebundene Eisen zurück und verhindert das Wachstum des Schleims, jedoch nicht das der gewöhnlichen Inkrustationen.

Für die zeitweise Beseitigung des Schleims hat sich der Gebrauch einer Bürste bewährt, doch ist es immer zweckmäßiger die Bildung des Schleims durch die erwähnten Vorsichtsmaßregeln zu verhindern. Soweit der englische Autor.

Die Erfahrung, daß auch Mangan in Wasserleitungen Störungen hervorrufen kann, hat man in Deutschland gemacht. Es konnte dies in einer Privatwasserleitung, bei der das Grundwasser aus dem Diluvium und Alluvium des Schwabachtales verwendet wurde, beobachtet werden.[1]) Hier traten plötzlich im Wasser der Leitung in solcher Menge schwarzbraune Flocken auf, daß das Wasser zum Wäschewaschen nicht mehr benutzt werden konnte. Beim Anschneiden der Leitungsrohre, die in der Hauptleitung aus Eisen, in der Anschlußleitung aus Blei bestanden,

---

[1]) Raumer, E. v., Über das Auftreten von Eisen und Mangan in Wasserleitungswasser. Zeitschr. f. analytische Chemie. 42. Jahrg. 1903, p. 598.

zeigte sich, daß beide Rohre eine 10—12 mm starke Schicht angesetzt hatten. Im Eisenrohr waren die Krusten von rotbrauner Farbe, von fester harter Beschaffenheit und bestanden der Hauptmasse nach aus Eisenoxyd, im Bleirohr hingegen war die Kruste schwarz, locker, samtweich und bestand zum großen Teil aus Manganoxydoxydul (Mn_3O_4). Raumer konnte nach Auflösung des Mangans in verdünnter Salzsäure in den Mangankrusten Fadenbakterien beobachten und vermutet, daß diese vielleicht bei den Manganausscheidungen tätig waren.

Baumert und Holdefleiß[1]) berichten von einem Wasserwerk, dessen Wasser dem Untergrunde von Wiesen entstammte und dessen Rohrnetz von Ausscheidungen im Laufe einiger Monate völlig verstopft worden war. An diesen Ausscheidungen hatte das Mangan einen wichtigen, wenn nicht gar den hauptsächlichsten Anteil. Die mikroskopische Untersuchung ergab die Anwesenheit der Crenothrix.

In neuerer Zeit ist eine Abhandlung von Schorler[2]) erschienen, die sich gleichfalls mit der Rostbildung der Wasserleitungsröhren beschäftigt und die ich, weil sie wertvolle Aufschlüsse bringt, hier dem Inhalte nach kurz wiedergeben will.

Er macht zuerst auf das sogenannte Nowotnysche Verfahren aufmerksam, nach dem es leicht gelingt, die Reinigung der Röhren in kurzer Zeit und vollständig durchzuführen. So wurde 1905 bei einer Probereinigung in Dresden das 10 cm weite und 1000 m lange Leitungsrohr in einer knappen Stunde tadellos gereinigt. Der von Nowotny erfundene Apparat[3]) ist leicht handlich, überall verwendbar und gestattet ein so gründliches Reinigen von allen Inkustrationen, daß der Ersatz alter Röhren durch neue unnötig gemacht wird und das Verfahren daher allen Gemeinden mit Wasserleitungen, deren Wasser mehr oder weniger eisenhaltig ist, warm empfohlen werden kann.

Innerhalb von 30 Jahren hatte der Rostbelag in den Dresdener Röhren eine ansehnliche Dicke erreicht. Ein 10 cm weites Rohr, das aus dem Rohrnetz stammte, hatte eine Rostinkrustation von durchschnittlich 3 cm Dicke. Da sich der Rostbelag von der intakt er-

[1]) Baumert, G. u. Holdefleiß, P., Nachweis und Bestimmung des Mangans im Trinkwasser. Zeitschr. f. Unters. der Nahrungs- und Genußmittel usw. 8. Bd. 1904, S. 177.

[2]) Schorler, B., Die Rostbildung in den Wasserleitungsröhren. Zentralblatt f. Bakteriologie usw. II. Abt. 15. Bd. 1905, S. 564—568.

[3]) Beschrieben in der Hygienisch- und gesundheitstechnischen Zeitschrift, Jahrg. 29, 1904, Nr. 14, S. 506. Das Patent hat die deutsche Röhren-Reinigungsgesellschaft Otto Mierisch & Co., Dresden-A. Zitiert nach Schorler.

scheinenden Rohrwand, d. h. von der schwarzen Asphaltschicht, mit der die Wasserleitungsröhren gewöhnlich ausgekleidet werden, abheben ließ, die Wand also nicht korrodiert war, so muß man wohl schließen, daß das Eisen des Rostbelags nicht aus dem Eisen der Röhren, sondern aus dem des Wassers stammte. Untersuchte nun Schorler die oberste leicht abwaschbare Schicht der noch feuchten Rostbrocken, so fand er neben eckigen unregelmäßigen Partikelchen reichlich die Fäden von Gallionella ferruginea. In trockenen Stücken erscheinen die Fäden zwar auch, aber in mehr zerbröckeltem Zustande. „Höchst merkwürdig ist es nun, daß man in den festen Partien auch der noch feuchten Rostbrocken, auf deren Oberfläche die Gallionella oft in Massenvegetation wuchert, von ihr nicht das Geringste wahrnehmen kann.“ Man findet hier scharfeckige helle, dunkelbraune bis schwarze Teilchen, die durch molekulare Umlagerung des Eisenoxyds der Gallionella entstehen und diese zum Verschwinden bringen.

Schorler schreibt der genannten Eisenbakterie bei der Rostbildung eine wesentliche Rolle zu. Sie ist es, die sich zunächst an der inneren Asphaltschicht der Röhre ansiedelt und das Eisen in ihren Fäden niederschlägt. „Sobald der Rostmantel um die Gallionella-Fäden eine gewisse Dicke erreicht hat, gehen, vielleicht Hand in Hand mit Veränderung der Scheide selbst, molekulare Umlagerungen in ihm vor sich. Es hebt an seiner Peripherie eine Kristallisation an, die entweder zur Ausbildung mehr oder weniger vollkommener hexagonaler Täfelchen führt, oder die zahlreich angelegten Kristalle benachbarter Fäden verwachsen miteinander und bilden mit diesen formlose Aggregate. So entstehen undurchsichtige Klumpen, aus denen zuweilen noch vereinzelte Gallionella-Fäden hervorragen. Mag nun die Veränderung so oder so vor sich gehen, in beiden Fällen werden die Gallionella-Fäden der mikroskopischen Beobachtung entzogen. Und dadurch erklärt sich ungezwungen, warum in den festen Teilen der Rostbrocken keine Gallionella-Fäden mehr nachweisbar sind.“

Der genannte Autor ist der Ansicht, daß die Gallionella in allen Wasserwerken aufgefunden werden wird und hier Wucherungen bilden dürfte. Obwohl Gallionella nach meinen und anderen Erfahrungen sicher ein viel verbreiteterer Organismus ist als man früher angenommen hat, so möchte ich doch die an und für sich interessanten, namentlich an den Dresdener Röhren gewonnenen Beobachtungen Schorlers nicht ohne weiteres generalisieren, denn schon aus den vorhin (S. 70) erwähnten Angaben Browns geht hervor, daß die Rostinkrustationen sehr häufig ganz frei von Organismen sind. Auch habe ich in dem reichlich entwickelten

Rost der Wasserleitungsröhren von Prag niemals Gallionella, wohl aber regelmäßig Crenothrix, Leptothrix, Clonothrix und ungemein häufig die Skelettstiele von Anthophysa vegetans vorgefunden. Bei dem Niederschlagen des Eisens fällt diesem Flagellaten, abgesehen von Leptothrix, im Prager Leitungswasser sicherlich eine Hauptrolle zu.

Als ich von der Auffindung der Gallionella in den Rostbrocken der Röhren durch Sehorler las, habe ich auch die rostigen Inkrustationen, die sich auf der Außenseite der eisernen Röhren der Bassins meines Prager Versuchsgartens und des botanischen Gartens fanden, untersucht, darin aber weder Gallionella noch sonst eine Eisenbakterie gefunden. Diese von mir untersuchten Rostbrocken entstehen daher nicht unter Mitwirkung von Eisenbakterien. Später habe ich Gelegenheit gehabt, Rostbrocken aus den Röhren der Brünner Trinkwasserleitung zu untersuchen. Das Wasser dieser Leitung ist filtriertes Schwarzawawasser, das einen ähnlichen Charakter wie das Moldauwasser besitzt, aber ausgezeichnet filtriert in die Röhren gelangt. Die mir übersandten, einer frisch geplatzten Röhre entnommenen Brocken, die ich der Güte des Direktors des Brünner Wasserwerkes, Herrn G. Heinke und des Professors Dr. Iltis in Brünn verdanke, hatten eine Dicke bis zu 2 cm und mehr und zeigten die Verhältnisse, wie sie Sehorler für Dresdener Leitungsröhren geschildert hat. Stellenweise bestanden die rostroten Brocken fast ganz aus inkrustierten Gallionella-Fäden (Tafel III, Fig. 15) und zwar vielfach aus jener breiten bandförmigen Form, die Ellis für eine eigene Gattung hält und Spirophyllum genannt hat (siehe S. 24). Die Gallionella ist gewöhnlich so stark mit Rost inkrustiert, daß man ihre Schraubenform nicht mehr zu sehen vermag. Erst wenn man ein derartiges Rostgeflecht mit konz. Salzsäure einige Zeit (nicht zu lange, weil sich sonst alles löst!) behandelt, kann man die Gallionella erkennen (Tafel III, Fig. 16). In diesen Rostmassen bildete die Gallionella einen dominierenden Bestandteil und die Art der Inkrustation und des Auftretens war so wie es Sehorler bei seinem Dresdener Untersuchungsmateriale geschildert hat. Nach dem überaus reichlichen Vorkommen der Gallionella in dem Rost der Brünner Rohrleitungen muß dieselbe an der Rostbildung zweifellos einen hervorragenden Anteil haben.

Ich hatte heuer Gelegenheit, noch ein anderes Bruchstück desselben Rohrnetzes, das seit 1872 in der Erde lag, ganz frisch zu prüfen, allein da waren Eisenbakterien nicht nachzuweisen, abgesehen von ganz vereinzelten Fäden.

Das Lumen des 7 cm dicken Rohres war zur Hälfte erfüllt von

erbsen- bis haselnußgroßen knolligen Brocken von braunem Rost. Äußerlich waren sie von braunem schlammigen Ocker umgeben, der sich leicht abschaben ließ, beim Auseinanderbrechen zeigten sie einen fast schwarzen etwas metallisch glänzenden Kern von poröser Beschaffenheit. Die ganze Masse ließ sich im Wassertropfen mit dem Deckglas leicht verreiben und zeigte sich zusammengesetzt aus winzigen Bröckchen und Körnchen von Eisenoxyd. Bakterienfäden waren eine Seltenheit, ein einziges Mal sah ich auch eine Anguillula.

Man sieht also. daß sich in derselben Rohrleitung die Rostmassen nicht immer gleich verhalten müssen, in den Leitungsröhren von Brünn besteht der Rost stellenweise fast ganz aus Gallionella, stellenweise lassen sich kaum oder fast kaum Organismen nachweisen.

Etwas anders fand ich aber die einschlägigen Verhältnisse in den Röhren der Wiener Hochquellleitung. Wie bereits früher einmal bemerkt wurde, gehört das Wiener Hochquellwasser zu den harten Wässern und enthält im Verhältnis zu dem Elbewasser in Dresden, dem Moldauwasser in Prag und dem Schwarzawawasser in Brünn nur äußerst geringe Mengen von Eisen und organischer Substanz. Von letzterer in 100 000 Teilen 0,08—0,60 Teile. Keime von Eisenbakterien (Chlamydothrix ochracea und Chlamydothrix sideropous) sind zwar vorhanden, aber sie kommen wegen Mangel an organischer Substanz nicht zur Entwicklung.

In den Rostbrocken, die ich sechs zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten Wiens geplatzten Röhren entnahm, fand ich überhaupt keine Scheiden von Eisenbakterien oder nur so vereinzelte, daß sie sicherlich bei der Rostbildung keine Rolle spielten. Auch war die festhaftende Rostmasse des Rohres gering entwickelt, nur wenige Millimeter dick, selbst bei Röhren, die schon viele Jahre im Boden gelegen sein dürften. Das ist auf den ersten Blick auffallend. zumal wenn man sieht, daß ein derartiges Rohrstück beim Einlegen in Wiener Hochquellwasser binnen wenigen Tagen stark verrostet, indem es eine ziemlich dicke Schicht von kolloidalem Eisenoxydhydrat bildet. Das Eisen stammt hier wohl fast ganz aus dem Rohr, von Eisenbakterien ist nichts zu sehen und da das Eisenoxydhydrat keinen festen Halt hat, so wird es von dem unter starkem Drucke stehenden und fließenden Wasser, kaum gebildet, wieder fortgeschwemmt. Anders verhält sich die Sache bei Wässern, die relativ reich an organischen Stoffen und Eisen oder gar an organischen Eisenverbindungen sind. Hier entwickeln sich auf der inneren Oberfläche der Röhren Eisenbakterien, reißen das im Wasser gelöste Eisen gierig

an sich und verfilzen dank ihrer schleimigen Oberfläche mit den sich gleichzeitig bildenden Eisenoxydhydratmassen. Es ist dann so, als ob zwischen dem Eisenoxydhydrat ein Gespinnst von Fäden ausgespannt wäre, hierdurch kommt es zur Bildung von zusammenhängenden Bröckchen und Brocken, die der strömenden Kraft des Wassers einen viel größeren Widerstand darbieten können.

In Wiener Hochquellwasser-Leitungsröhren kommt es wegen der allzu geringen Mengen organischer Substanz zu keiner Entwicklung von Eisenbakterien und daher nur zu einem relativ geringen Rostansatz. Dieser verdankt seine Entstehung einem rein chemischen Prozeß, wie er auch stattfindet, wenn man z. B. eiserne blanke Nägel in steriles Leitungswasser bringt. Nach einem bis mehreren Tagen erweisen sich solche Nägel ohne Mitwirkung irgend welcher Organismen als stark verrostet.

Auch Raumer[1]) machte die Erfahrung, daß Klagen über Auftreten der Crenothrix und Störungen durch Eisenausscheidungen in Wasserleitungsröhren nur von solchen Orten einliefen, die das Wasser zu ihrer Leitung aus gebohrten Grundwasserbrunnen beziehen, während Orte mit Quellwasserleitungen von derartigen Störungen frei blieben. Maßgebend für die Eisenbakterie sind eben die im Wasser gelösten organischen Substanzen und das an solche organische Stoffe, Humussäuren- und andere gebundene Eisen. Die Grundwässer führen häufig derartige Stoffe, die Quellwässer nicht oder nur in so minimaler Menge, daß die Eisenbakterien hier ihr Auslangen nicht mehr finden.

Wenn ich demnach die gesamten von anderen und mir gemachten Erfahrungen kritisch übersehaue und zusammenfasse, so darf ich folgende Schlüsse ziehen: Die in den Wasserleitungsröhren im Laufe der Zeit sich einstellenden und mitunter selbst bis zu deren Verstopfung führenden Rostbildungen entstehen in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Brown nicht immer auf dieselbe Weise. Sie bilden sich rein chemisch oder chemisch und biologisch analog wie die Rasenerze. In Wässern, die nur äußerst geringe Spuren organischer Substanzen enthalten, wie z. B. das Wiener Hochquellwasser, entsteht der Rost ohne Mitwirkung von Organismen in rein chemischer Weise. In Leitungswässern hingegen, die relativ reich an organischen Stoffen sind und wo Eisenbakterien gute Bedingungen für

[1]) Raumer, E. v., Über das Auftreten von Eisen und Mangan im Wasserleitungswasser. Zeitschr. f. analyt. Chemie. 42. Jahrg. 1903. S. 591.

ihre Entwicklung finden, entsteht zwar Eisenoxydhydrat nebenbei auch rein chemisch, aber die Eisenbakterien helfen bei der Rostbildung energisch mit, indem sie das gelöste Eisen in ihrer Scheide gewissermaßen einfangen, in ihrer und auf ihrer Scheide in unlöslicher Form deponieren und mit dem außerhalb der inkrustierten Fäden vorhandenen Eisenoxydhydrat zu kompakten Bröckchen und Brocken verfilzen.

Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß die Rostbildung in den Leitungsröhren auch ohne Organismen vor sich gehen kann, daß aber die Eisenbakterien daran einen hervorragenden Anteil nehmen, ja sogar häufig einen dominierenden Einfluß auf diese für viele Städte äußerst lästige Kalamität ausüben können.

2. Die Eisenbakterien und die zu Heilzwecken verwendeten Eisenwässer.

Es ist eine lange bekannte Tatsache, daß die im Handel befindlichen Eisenwässer keine lange Haltbarkeit besitzen, weil das in den Wässern vorkommende gelöste Eisenoxydulbikarbonat nach der Einfüllung in die Flaschen häufig alsbald als unlösliches Eisenoxydhydrat ausfällt und sich am Boden ansammelt. Solche Wässer werden, wenn das ganze oder fast das ganze Eisen in unlöslicher Form ausgefallen ist, sozusagen wertlos und das Publikum sollte von Seiten der Ärzte darüber aufgeklärt werden. Die Eisenwässer enthalten, wenn sie frisch sind, das Eisen in leicht verträglicher und wirksamer Form. Das unlösliche Eisen solcher Wässer aber wird vom Organismus nicht aufgenommen und daher sollten derartige „Eisenwässer“ ohne Eisen vom Verkaufe ganz ausgeschlossen werden.

Das im Wasser vorhandene Ferrokarbonat wird durch die überschüssige Kohlensäure in Lösung erhalten. Sowie die Kohlensäure entweicht und Sauerstoff zutritt, oxydiert sich das Ferrokarbonat und fällt als Eisenoxydhydrat heraus. Dies geschieht auch beim Füllen und Aufbewahren der Flaschen. Daher versuchte man das Entweichen der Kohlensäure so weit als möglich zu vermeiden, aber trotz aller Vorsichtsmaßregeln blieb das Resultat sehr ungünstig.

Die eben gegebene bekannte Erklärung von der mangelhaften Haltbarkeit wurde durch zwei Beobachtungen erschüttert, die darauf hindeuten, daß neben dem Entweichen der Kohlensäure noch zwei andere Faktoren mit dem Ausfallen des Eisens im Zusammenhange stehen.

1. Wie Binz[1]) nachgewiesen hat, besteht zwischen dem Ausfallen des Eisens und dem Kohlensäureverlust keine prozentische Übereinstimmung.
2. Nach Adler[2]) kann durch Zusatz von Stoffen, die die Entwicklung von Mikroorganismen verhindern, die Haltbarkeit der natürlichen Wässer wesentlich erhöht, d. h. die Ausfällung des Eisens um ein Beträchtliches hinausgeschoben werden.

Binz schloß aus seinen Versuchen mit Recht, daß an dem Ausfallen des gelösten Eisens neben dem Entweichen der Kohlensäure noch andere Ursachen beteiligt sein müssen: „Die Beschaffenheit des Korks oder des Glases, die Wärme beim Füllen und beim Aufbewahren und manches andere mag dabei beteiligt sein.“ Adler kam auf den Gedanken, daß vielleicht auch Mikroorganismen die Fällung des Eisens hervorrufen könnten und daß man vielleicht durch Zusatz von Antiseptika eine Hemmung der Eisenfällung erzielen dürfte. Er arbeitete mit dem Wasser der Karlsbader Eisenquelle. Die vor der Füllung sterilisierten und unter Vorsichtsmaßregeln gefüllten Flaschen zeigen, bei Zimmertemperatur aufbewahrt, schon 2—3 Tage nach der Füllung an den Wänden und am Boden der Flaschen kleine hellgelbe Anlagerungen, auch tritt alsbald ein Eisenoxydniederschlag auf, der im Laufe einiger Wochen ein Maximum erreicht. Wenn nun solchen Flaschen unmittelbar nach der Füllung Sublimat oder Karbolsäure in solchen Quantitäten zugesetzt wurde, daß schließlich daraus eine 2proz. Lösung resultierte, so bilden sich keine Wandablagerungen und nur Spuren eines Niederschlages. Vorsichtiges Sterilisieren durch mäßiges Erhitzen hatte denselben Erfolg.

Adler fand auch, daß der Niederschlag von Organismen durchsetzt war. Er spricht in seiner ersten Abhandlung von „starren, spirillenartig gewundenen, häufig ineinander gewundenen geringelten Fäden, die sich durch intensive braune Färbung deutlich vom Niederschlage abheben“ und schreibt diesem Organismus mit Rücksicht auf seine antiseptischen Versuche einen wesentlichen Anteil an der Bildung des Niederschlags zu.

Später nahm Adler[3]) seine Arbeit unter meiner Leitung wieder

[1]) Binz, C., Der Gehalt natürlicher Eisenwässer an gelöstem Eisen. Deutsche medizinische Wochenschrift, XXVII. Jahrg. (1901), S. 212.

[2]) Adler, O., Biologische Untersuchungen von natürlichem Eisenwasser. Ebenda, S. 431.

[3]) Adler, O., Über Eisenbakterien in ihrer Beziehung zu den therapeutisch verwendeten natürlichen Eisenwässern. Zentralblatt f. Bakteriologie usw. II. Abt., Bd. XI, 1903. S. 215.

auf und zeigte, daß die in seinen Eisenwässern vorkommenden Organismen Eisenbakterien sind, und daß es sich in der Karlsbader Eisenquelle um die Gallionella ferruginea handelt.

Adler hat eine große Anzahl von im Handel vorkommenden kohlensauren Eisenwässern und alkalischen Eisensäuerlingen verschiedener Provenienz bezüglich ihres Eisenniederschlages mikroskopisch geprüft. Im ganzen 41 Quellen. „Hiervon zeigten 40 Quellen einen Niederschlag, der bei den kohlensauren Wässern der Hauptmenge nach aus Eisenoxydhydrat bestand. Bei 21 Quellen zeigten die abgefüllten Flaschen außerdem fest anhaftende Anlagerungen von Eisenoxydhydrat an den Glaswänden. Bei 25 Quellen konnten bei der mikroskopischen Untersuchung des Niederschlages konstant Organismen nachgewiesen werden. Außerdem wurde bei einer Anzahl von Quellen der Niederschlag nach Behandlung mit Salzsäure bei starker Vergrößerung auf das Vorhandensein von Bakterien untersucht und es wurden tatsächlich mehrmals massenhaft Bakterien (Stäbchen) entweder direkt oder nach vorhergehender Färbung im Niederschlage nachgewiesen.

Bei 12 Quellen ergab die mikroskopische Untersuchung konstant das Vorhandensein der Gallionella ferruginea. Von den übrigen Eisenbakterien fand sich in zwei Quellen Cladothrix dichotoma, einmal Leptothrix ochracea. Dieser Befund ist auffallend, einerseits wegen der großen Verbreitung der Gallionella ferruginea, andererseits wegen des geringen Vorkommens der Leptothrix und Cladothrix in den abgefüllten Flaschen der natürlichen Eisenwässer.

Pilzhyphen fanden sich bei der Untersuchung des Niederschlages von 7 Quellen: meist war der Niederschlag von den Pilzfäden ganz durchsetzt.“ Der genannte Forscher nahm seine Versuche betreffend die Verlängerung der Haltbarkeit der Wässer durch Hinzufügung von Antisepticis wieder auf: er prüfte die Wirkung des Zusatzes von Kampfer, Alkohol, Antipyrin, Chinin, Formaldehyd und Sublimat, und es gelang ihm stets mit Sicherheit, durch Zusatz solcher Stoffe das Ausfallen des Eisens im Karlsbader Eisenquellwasser durch mehrere Wochen hintanzuhalten. Hingegen findet man in den Kontrollflaschen ohne Zusatz fast das gesamte Eisen schon nach 4—5 Tagen in Form eines Niederschlages von Eisenoxydhydrat am Boden und an den Wänden herausgefallen. Diese Versuche lehren, daß das Ausfallen des Eisens auch ohne Beteiligung von Organismen innerhalb einer bestimmten Zeit vor sich geht, daß aber dieser relativ langsam vor sich gehende Prozeß durch die Anwesenheit der Gallionella ferruginea eine wesentliche Beschleunigung erfährt. Adler läßt

es dahingestellt, ob diese durch eine von den Eisenbakterien ausgehende Ausscheidung eines Alkali oder durch Ausscheidung eines anderen bestimmten Stoffes (vielleicht einer Oxydase) erfolgt. Daß eine Fällung des Eisens durch die Ausscheidung einer alkalischen Substanz erfolgen dürfte, klingt sehr plausibel, da ja bekanntlich zahlreiche Bakterien Alkali auszuscheiden vermögen.

Es wäre nun noch zu wünschen, daß wir auch Mittel und Wege fänden, die Haltbarkeit der käuflichen Eisenwässer möglichst zu verlängern. Mit antiseptischen Zusätzen, die bei Laboratoriumsversuchen nach Adler gute Resultate ergeben, würde der Praxis aus nahe liegenden Gründen nicht gedient sein und auch der Sterilisation durch Erhitzen der abgefüllten Flaschen dürften in der Praxis große Schwierigkeiten entgegenstehen, desgleichen der Beseitigung der Keime durch Filtration, weil ja auch ohne Keime die Fällung des Eisens, wenn auch bedeutend langsamer, erfolgt.

Autorenregister.

A.
Adler 8, 30, 33, 57, 78.

B.
Baumert 72.
Beythien 47.
Binz 78.
Brefeld 5.
Brown 69.
Büsgen 30, 32.

C.
Cienkowski 2.
Cohn 2, 44.

E.
Ehrenberg 7, 8, 59.
Ellis 9, 15, 24, 25, 43, 74.

F.
Fischer, A. 18.
Fischer, B. 51.

G.
Gaidukov 56, 58.
Giard 2.

H.
Hansgirg 5.
Hassack 54, 66, 67.
Hempel 47.
Höflich 31, 32.
Holdefleiß 72.

J.
Jackson 47.

K
Klebs 50, 54.
Kraft 47.
Kühn 2.

M.
Mettenheimer 26.
Migula 7, 18, 26.
Molisch 4, 13, 28, 33, 36, 45, 46, 53, 56, 60.

N.
Neufeld 47.

P.
Peklo 56, 57.
Potonié 62, 66.
Pringsheim 54, 66.

R.
Raumer, v. 71, 76.
Richter 30.
Rößler 29.
Rullmann 16, 17.
Ruttner 5.

S.
Schorler 6, 7, 8, 19, 47, 64, 72, 73, 74.
Schwers 9, 26, 52, 61, 66.

V.
de Vries 3, 6.

W.
Winogradsky 1, 28, 32, 39, 44, 57, 59.

Z.
Zopf 2, 5, 6, 17, 39, 44, 56.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I.

Fig. 1. „Wurzelhaar" von Salvinia auriculata, besiedelt mit Siderocapsa Treubii. Vergr. etwa 300.

Fig. 2. Siderocapsa Treubii. Die in die Kapsel eingezeichneten Bakterien sind erst nach Behandlung mit dem Schiffschen Reagens sichtbar. Vergr. etwa 500.

Fig. 3. Stück der unteren Oberhaut des Blattes von Nymphaea micrantha, besetzt mit Siderocapsa Treubii. Die Bakterien sitzen fast ausschließlich auf den senkrecht zur Oberfläche orientierten Wänden. Vergr. etwa 500.

Fig. 4. Stück der unteren Oberhaut des Blattes von Calla Ellotiana mit Siderocapsa. Verteilung der Bakterien wie in Fig. 3. Vergr. etwa 300.

Fig. 5. Lebender Sproß von Elodea canadensis, der von Siderocapsa Treubii vollständig überzogen und daher von tiefbrauner Farbe ist. Vergr. 2.

Fig. 6. Stück eines Blattes der in Fig. 5 dargestellten Elodea. Siderocapsa bildet hier zusammenhängende ockerige Krusten. Vergr. etwa 500.

Tafel II.

Fig. 7. Siderocapsa major Molisch. Vergr. ca. 500.

Fig. 8. Chlamydothrix sideropous Molisch.
a) Haftscheibe von oben, b) von der Seite gesehen, c) mehrere Haftscheiben miteinander verbunden. Vergr. ca. 500.

Fig. 9. Chlamydothrix ochracea Mig. Manganpeptongelatine-Platten. 20 Tage alt, bei Zimmertemperatur. Kolonien. Vergr. $^1/_2$.

Fig. 10. Dasselbe, eine Kolonie, 18 mal vergrößert. Die dunkle innere Partie ist die eigentliche Bakterienkolonie, umgeben von einem feinkörnigen peripheren helleren Hof, bestehend aus zahllosen Körnchen einer braunen Manganverbindung.

Fig. 11. Die eben erwähnten Mangankörnchen stärker vergrößert. a) tiefer liegende Körnchen, b) oberflächliche. Vergr. etwa 560.

Tafel III.

Fig. 12. Chlamydothrix ochracea Mig. Manganpepton-Gelatine-Stichkultur. 1 Monat alt, bei Zimmertemperatur. Die Kolonien in der Nähe des Meniskus färben sich braun, die tieferen, dem Sauerstoff mehr entzogenen bleiben farblos. Natürl. Größe.

Fig. 13. Chlamydothrix ochracea Mig. Manganpepton-Gelatine-Strichkultur. 10 Tage alt, bei Zimmertemperatur. a) In der Daraufsicht, b) im Profil. Man sieht das Einsinken der Räschen in die Gelatine. Natürl. Größe.

Fig. 14. Chlamydothrix ochracea Mig. Fäden a, b, c, d aus einer Objektträgerkultur mit kohlensaurem Eisenoxydul. Die in der Nähe des Deckglasrandes vorhandenen Fäden inkrustieren sich mit braunem Eisenoxydhydrat, die in der Mitte d mit weißem Eisenoxydulhydrat. Der Faden zeigt eine kleine Haftscheibe. Vergr. etwa 670.

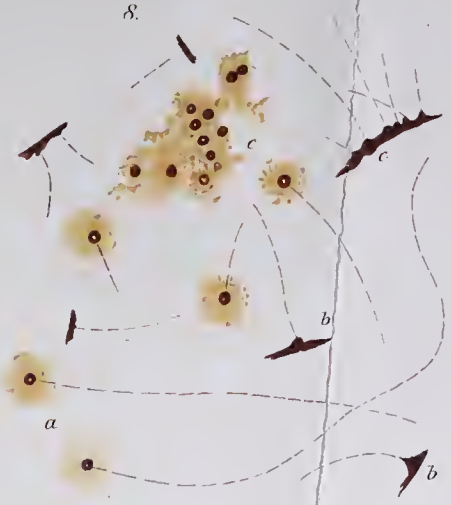
Fig. 15. Rostmasse aus einem Wasserleitungsrohr. Die Masse besteht fast ganz aus inkrustierten Fäden von Gallionella ferruginea. Vergr. 285.

Fig. 16. Solche Fäden einige Zeit mit konzentrierter Salzsäure behandelt. Die Struktur der Gallionella kommt zum Vorschein. Vergr. 285.

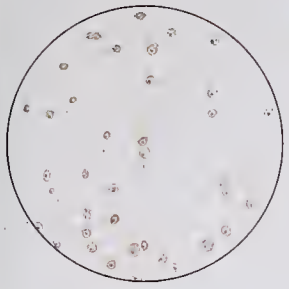
Verlag von Gustav Fischer in Jena
Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig

7.

8.

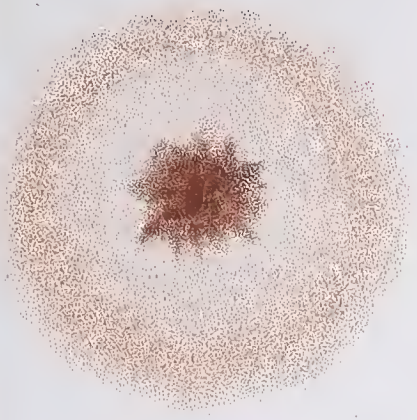


9.



11a

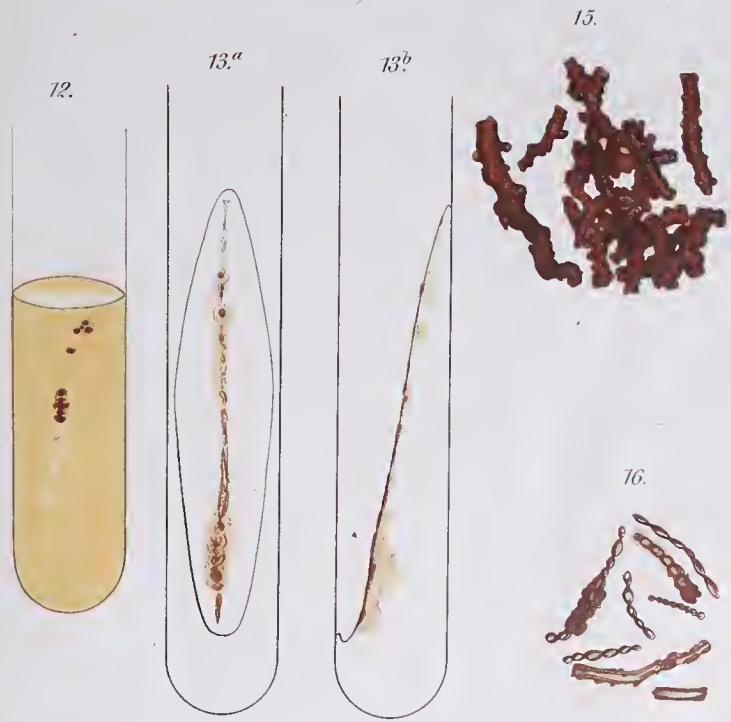
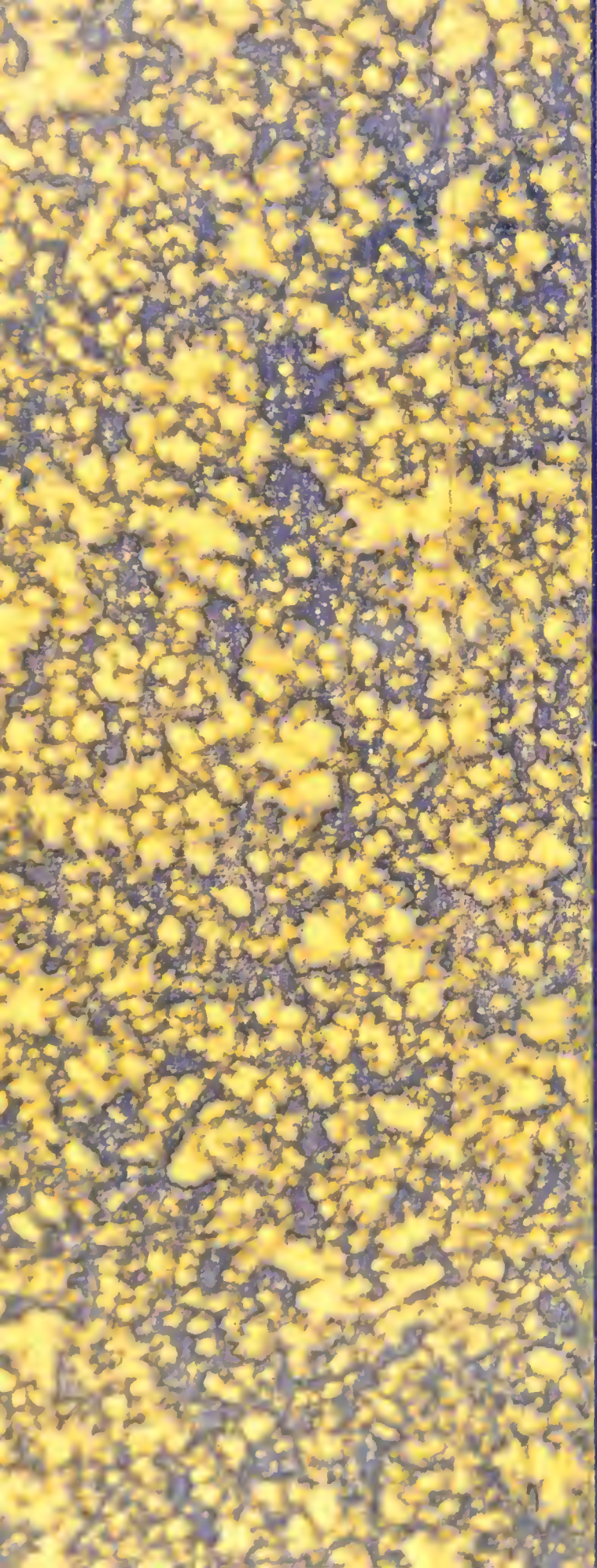
10.



11b

Verlag von Gustav Fischer in Jena

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



Verlag von Gustav Fischer in Jena